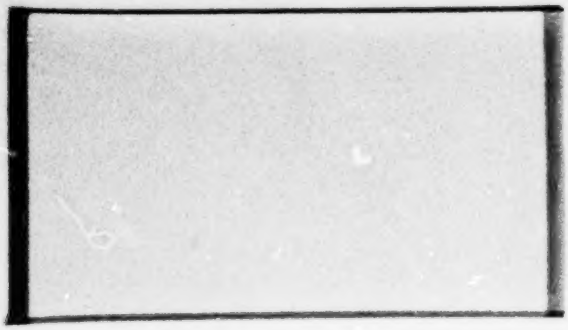
Travaux publics Canada
Public Works Canada

Bureau des programmes solaires
Solar Programs Office

85-1782/



ENERPUB

Manuel de l'utilisateur

Novembre 1982

Assistance et renseignements:

K. Ford
Ingénieur, conception assistée
Bureau des programmes solaires
Edifice Sir Charles Tupper
Promenade Riverside
Ottawa K1A 0M2

(513) 998-3641

Le présent document ne constitue pas une publication du ministère.
Ne pas y faire référence ou cataloguer dans une bibliothèque.

Responsabilité de l'utilisateur

L'utilisateur est responsable de la validité des informations générées par le programme ENERPUB. Le programme ne doit donc pas être utilisé par des personnes qui n'ont pas une solide connaissance du domaine technique auquel le programme s'applique. Ni Travaux publics Canada, ni personne agissant au nom du ministère n'est en mesure de garantir l'exactitude, l'intégralité ou l'utilité des résultats obtenus à l'aide du programme ou d'en assumer une quelconque responsabilité.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1.	INTRODUCTION	1
2.	LE PROGRAMME MACHINE ENERPUB	2
	2.1 Composition des installations	2
	2.2 Méthodes de chauffage des locaux	2
	2.2.1 Procédé de captage de l'énergie solaire	2
	2.2.2 Procédé de chauffage de l'eau domestique	8
	2.2.3 Procédés de chauffage des locaux	8
	2.2.3.1 Chauffage des locaux - type 0	8
	2.2.3.2 Chauffage des locaux - type 1	8
	2.2.3.3 Chauffage des locaux - type 2	8
	2.2.3.4 Chauffage des locaux - type 3	9
	2.3 Procédé de dégourdissage du mazout	9
	2.4 Séance de formation	9
3.	PARAMÈTRES DE L'INSTALLATION	18
	3.1 Définition des paramètres	18
	3.2 Données climatiques (et carte)	25
	3.3 Température du sol	27
	3.4 Modification des résultats d'essai des capteurs	27
	3.5 Calcul du coefficient de déperdition calorifique de la tuyauterie	27
4.	DESCRIPTION DES RÉSULTATS DU PROGRAMME	28
	4.1 Résultats de l'analyse thermique	28
	4.2 Analyse économique	29
5.	ALGORITHME DU PROGRAMME	30
	5.1 Aperçu général du fonctionnement du programme	30
	5.2 Algorithme de traitement des données climatiques	36
	5.3 Algorithme de calcul des déperditions calorifiques de la tuyauterie	39
	5.4 Algorithme du rendement des capteurs	39
	5.5 Algorithme de la pompe à chaleur	40
	5.6 Algorithme du réservoir stratifié	41
	5.7 Algorithme de l'analyse économique	43
6.	STRUCTURE DU PROGRAMME	45
7.	RÉFÉRENCES	48
8.	FEUILLE DE PROGRAMMATION DES DONNÉES	49
9.	NOMENCLATURE	52

LISTE DES FIGURES

		Page
FIGURE 1:	Schéma d'installation de chauffage solaire - type 0 - sans pompe à chaleur	3
FIGURE 2:	Schéma d'installation de chauffage solaire - type 1 - pompe à chaleur et chauffage solaire en série	4
FIGURE 3:	Schéma d'installation de chauffage solaire - type 2 - pompe à chaleur et chauffage solaire en parallèle	5
FIGURE 4:	Schéma d'installation de chauffage solaire - type 3 - apport solaire à la pompe à chaleur seulement	6
FIGURE 5:	Schéma d'installation de dégourdissage du mazout - type 4	7
FIGURE 6:	Organigramme d'ENERPUB	32
FIGURE 7:	Structure du programme ENERPUB	46

1. INTRODUCTION

Le programme machine ENERPUB, élaboré pour Travaux publics Canada par Enermodal Engineering Limited, peut être utilisé pour simuler le rendement d'installations solaires à liquide pour le chauffage des locaux, à stockage saisonnier ou à court terme, avec ou sans pompe à chaleur. Le programme peut aussi simuler le rendement d'une installation solaire de dégourdissage du mazout dans les réservoirs. ENERPUB ne convient pas à la simulation d'installations de chauffage de l'eau domestique précisément à cause du type particulier d'échangeur de chaleur.

Le programme ENERPUB comporte plusieurs avantages sur d'autres programmes de simulation. Comme le calcul du rendement est effectué d'heure en heure, en temps simulé, on peut obtenir des résultats plus précis qu'avec les programmes à calcul mensuel tel le FCHART. De plus, le programme ENERPUB peut simuler un nombre plus important de paramètres que les programmes restreints par les équations de corrélation des moyennes mensuelles. Quelques-uns des modèles du programme ENERPUB ont été adaptés à partir de modèles du programme WATSUN (WATSUN est un programme machine à calcul d'heure en heure élaboré par l'Université de Waterloo). ENERPUB comporte toutefois plusieurs améliorations par rapport au programme Watsun pour le chauffage des locaux:

1) un modèle de réservoir stratifié pour le stockage saisonnier ou à court terme;
2) quatre emplacements possibles de la pompe à chaleur;
3) l'introduction des pertes de chaleur du stockage au bâtiment, à l'air ou au sol;
4) l'introduction des pertes de chaleur de la tuyauterie des capteurs et du stockage au bâtiment, à l'air ou au sol.

Le programme machine ENERPUB produit des résultats détaillés et précis pour des installations à liquide et à stockage saisonnier ou à court terme, à condition d'introduire des valeurs raisonnables pour tous les paramètres. Les utilisateurs doivent lire et comprendre le présent manuel avant d'utiliser le programme.

2. LE PROGRAMME MACHINE ENERPUB

2.1 Composition des installations

Les figures 1 à 4 illustrent les quatre installations de chauffage des locaux qui peuvent être simulées par le programme. Ces installations diffèrent par la façon dont la chaleur est transmise à la demande de chauffage des locaux. La figure 5 illustre l'installation de dégourdissage du mazout. Il est à remarquer qu'il s'agit seulement d'installations à liquide; le programme n'est pas conçu pour les installations à air. On peut tenir compte des pertes de chaleur dans les quatre sections de tuyauterie indiquées sur les figures: circuit de départ et de retour des capteurs, départ et retour du bâtiment. Les figures utilisent les abréviations suivantes:

CS	-	capteurs solaires
ST	-	stockage thermique
MAZ	-	réservoir de mazout
APP	-	chauffage d'appoint
EAU	-	chauffage de l'eau domestique
PAC	-	pompe à chaleur
EC_c	-	échangeur de chaleur capteur-stockage
EC_e	-	échangeur de chaleur stockage-eau chaude domestique
EC_b	-	échangeur de chaleur stockage-bâtiment
P1,P2,P3,P4	-	pompes de circulation
V1,V2,V3,V4	-	soupapes de régulation
①,②,③,④,	-	sections de tuyauterie où sont calculées les déperditions

2.2 Méthodes de chauffage des locaux

On peut décomposer le fonctionnement des quatre installations de chauffage des locaux en trois étapes distinctes: captage de l'énergie solaire, chauffage des locaux et chauffage de l'eau domestique.

2.2.1 Procédé de captage de l'énergie solaire

Lorsque la température du liquide à l'entrée est inférieure à la température moyenne de l'absorbeur, on peut capter l'énergie solaire et la transmettre au stockage. L'installation cesse de fonctionner lorsque la température de sortie du liquide approche du point d'ébulition et les capteurs sont vidangés ou la chaleur est rejetée par les soupapes de détente.

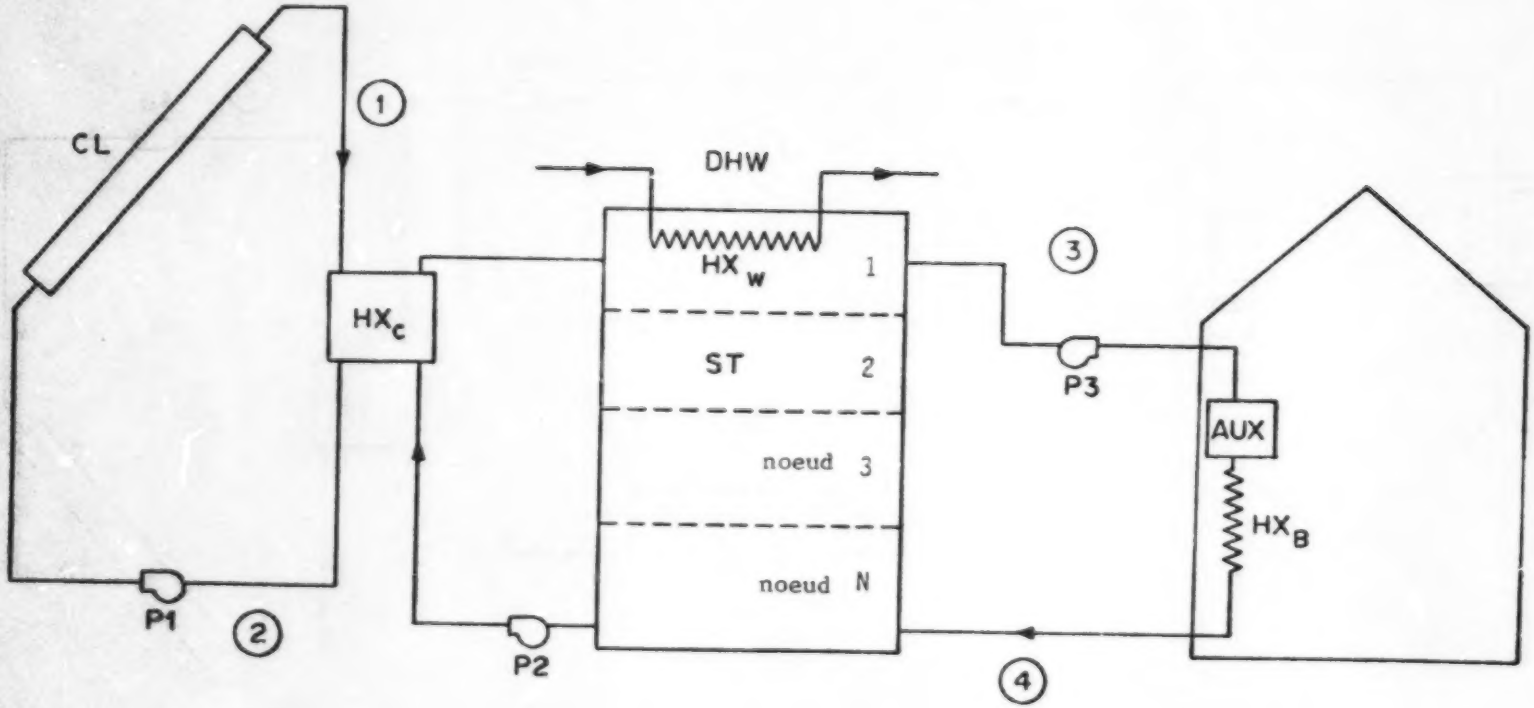


Figure 1: schéma d'installation de chauffage solaire - type 0
sans pompe à chaleur

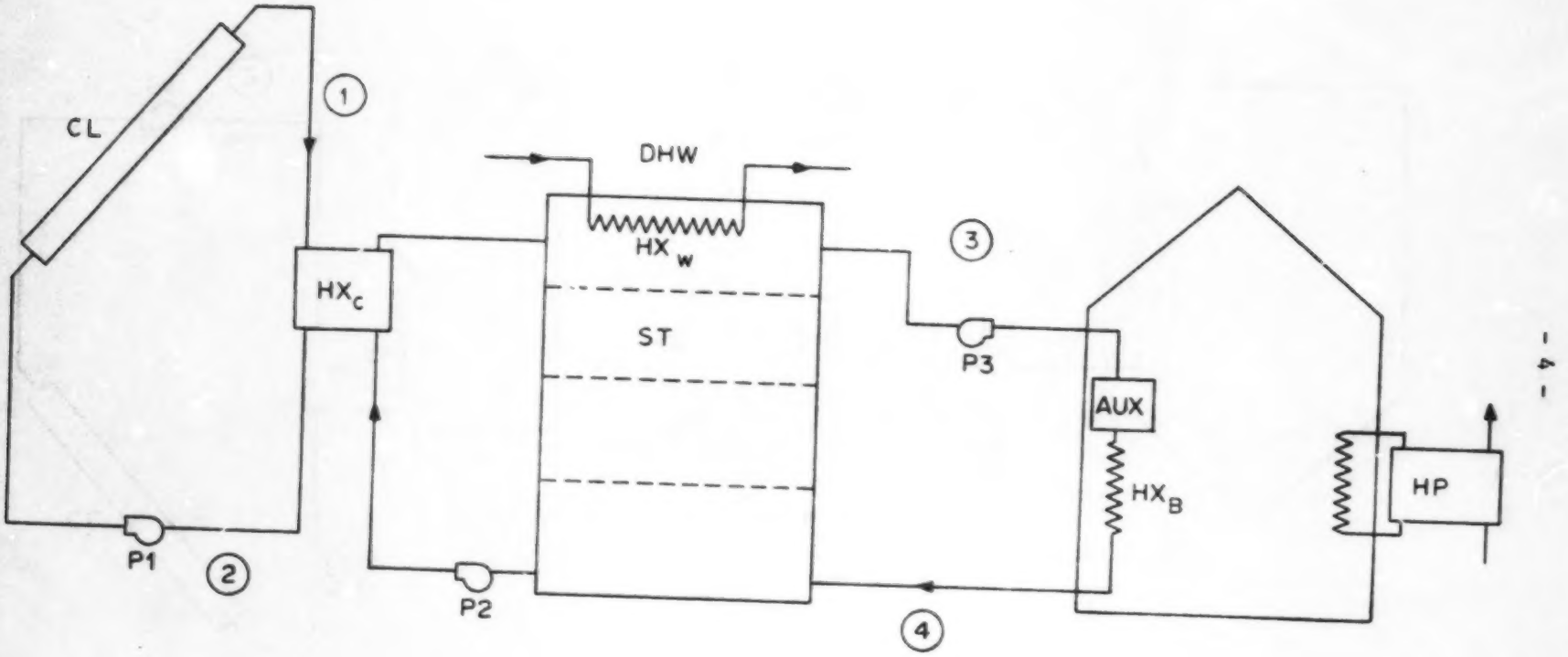


Figure 3: schéma d'installation de chauffage solaire - type 2
pompe à chaleur et chauffage solaire en parallèle

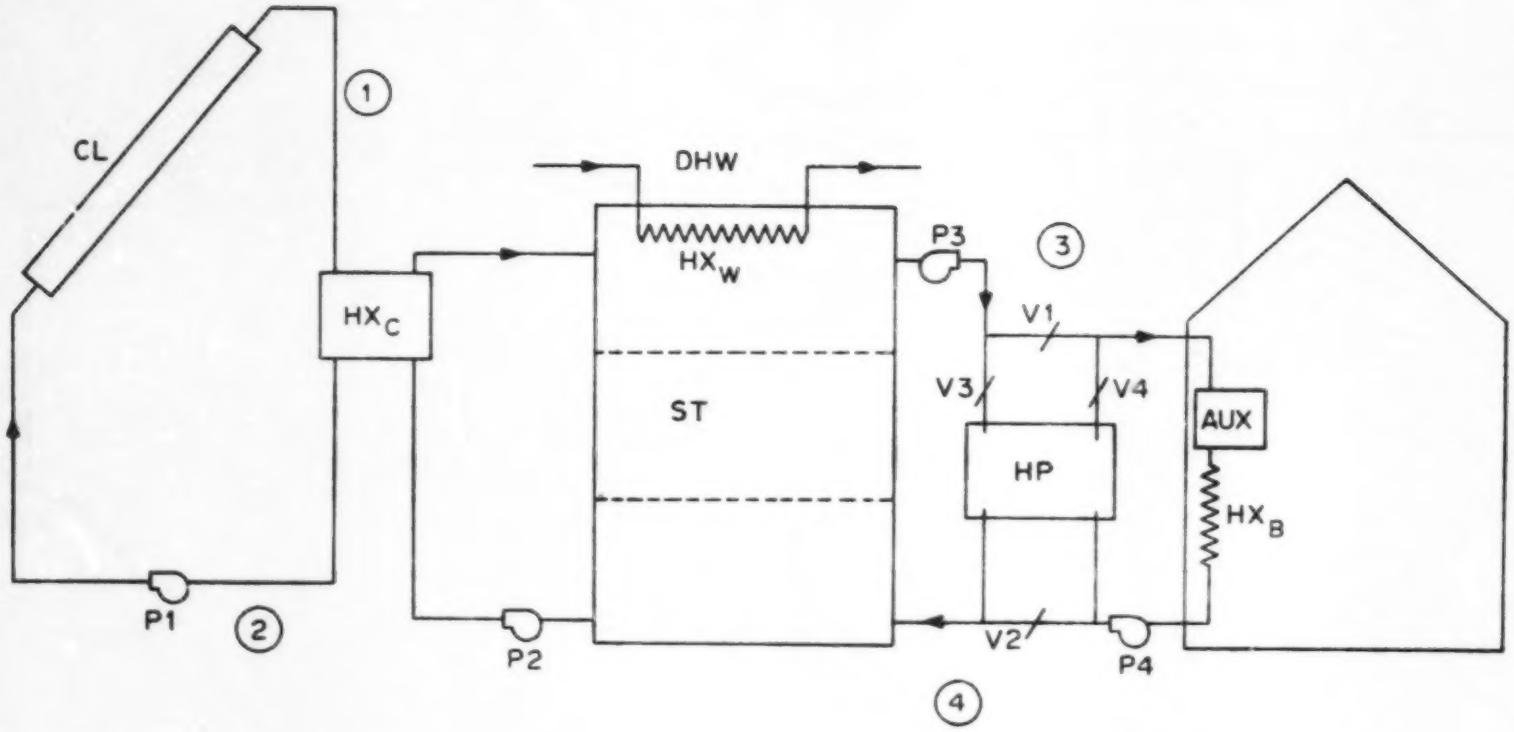


Figure 2: schéma d'installation de chauffage solaire - type 1
pompe à chaleur et chauffage solaire en série

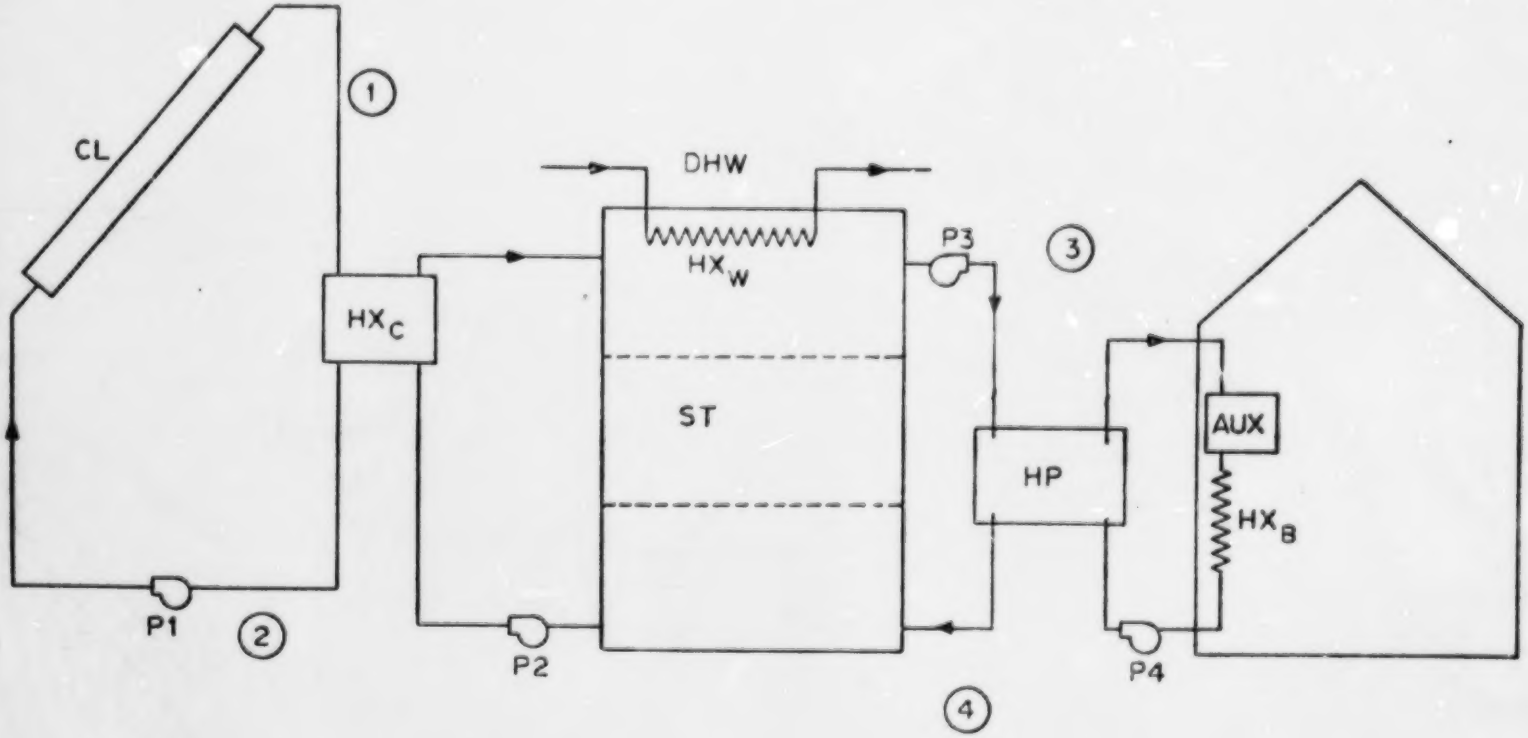


Figure 4: schéma d'installation de chauffage solaire - type 3
apport solaire à la pompe à chaleur seulement

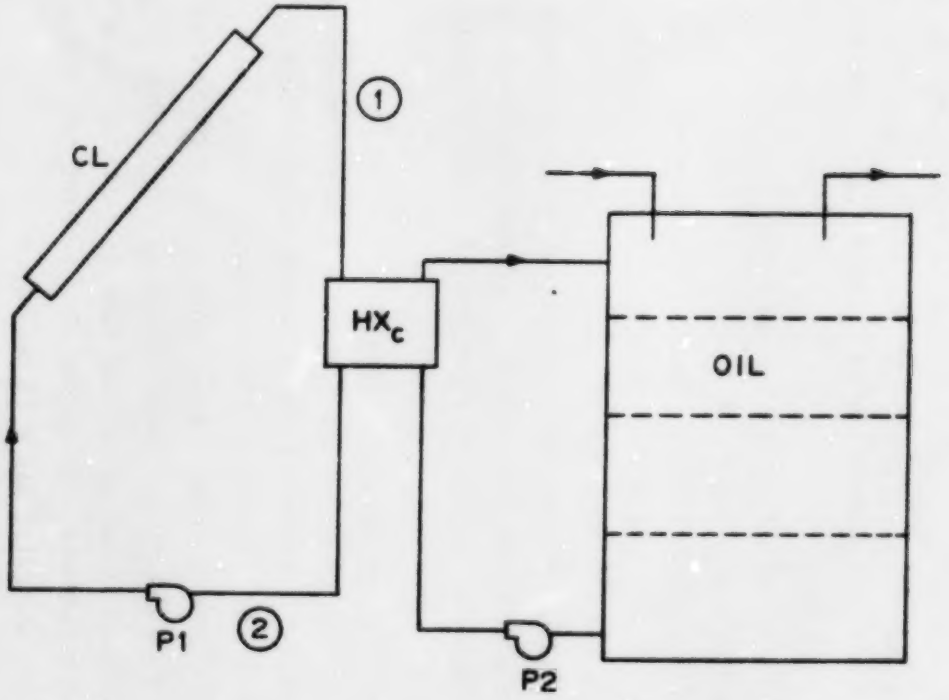


Figure 5: schéma d'installation de dégourdissage du mazout - type 4

2.2.2 Procédé de chauffage de l'eau domestique

Le préchauffage de l'eau domestique est effectué au moyen d'un échangeur de chaleur placé dans la partie supérieure du réservoir de stockage et au travers duquel passe la conduite principale d'eau. Le chauffe-eau classique prend la relève si l'eau n'atteint pas la température voulue. Il est à remarquer que l'échangeur de chaleur ne fonctionne que s'il y a une demande d'eau chaude, c.-à-d. qu'il n'y a pas de recirculation. Si la demande d'eau chaude domestique est supérieure à 20 p. cent de la demande totale de chauffage, le présent modèle ne convient pas et ne produira pas des résultats acceptables.

2.2.3 Procédés de chauffage des locaux

2.2.3.1 Chauffage des locaux - type 0

Cette installation ne comporte pas de pompe à chaleur. Lorsque les locaux exigent d'être chauffés, l'eau du stockage est circulée au travers de l'échangeur de chaleur du bâtiment. L'échangeur thermique peut consister en des radiateurs à eau chaude ou en un échangeur eau-air placé dans la conduite de reprise du générateur d'air chaud. Lorsque l'installation solaire ne peut suffire à la demande, le chauffage d'appoint prend la relève.

2.2.3.2 Chauffage des locaux - type 1

Cette installation est semblable à la précédente sauf qu'on y a ajouté une pompe à chaleur. L'installation tente d'abord de répondre à la demande à partir de l'apport solaire (soupapes 1 et 2 ouvertes, soupapes 3 et 4 fermées). Si l'apport solaire est insuffisant pour répondre à la demande, l'installation de chauffage solaire cesse de fonctionner et la pompe à chaleur se met en marche, puisant sa chaleur dans le stockage (soupapes 3 et 4 ouvertes, soupapes 1 et 2 fermées). Le chauffage d'appoint comblera la différence si la pompe à chaleur ne suffit pas à la demande.

2.2.3.3 Chauffage des locaux - type 2

Le fonctionnement de cette installation est analogue à celle de type type 0 sauf que la pompe à chaleur sert d'appoint et utilise l'air comme source de chaleur. La pompe se met en marche lorsque le chauffage solaire ne suffit pas à la demande. Il faut souligner qu'à la différence de l'installation de type 1, le bâtiment peut être chauffé par l'installation solaire et la pompe à chaleur simultanément. Le chauffage d'appoint comblera la différence si les deux installations sont incapables de répondre à la demande.

2.2.3.4 Chauffage des locaux - type 3

L'apport solaire dans cette installation ne peut être transmis à la demande que par l'intermédiaire de la pompe à chaleur. Le rendement de cette installation sera toujours inférieur à celle de type 1, mais elle présente l'avantage d'une régulation et d'un montage simplifiés.

2.3 Procédé de dégourdissage du mazout

Contrairement aux quatre installations précédentes, celle-ci ne répond pas à une demande de chauffage des locaux. Elle vise plutôt à maintenir la température du mazout au-dessus d'un minimum (pour éviter une viscosité excessive) de manière qu'il puisse être pompé au besoin.

La chaleur est captée selon le procédé décrit à la section 2.2. L'installation ne comporte pas de circuit de chauffage de l'eau domestique. Comme on le verra à la section 3.1, les paramètres d'entrée du chauffage de l'eau domestique peuvent être utilisés pour simuler des retraits de mazout. Il n'y a aucune régulation de chauffage des locaux, la chaleur reçue est ajoutée continuellement au réservoir.

2.4 Séance de formation

La présente section décrit l'utilisation du programme machine ENERPUB. La section 3 comprend une description complète des paramètres et la section 4 explique les résultats du traitement.

Après avoir exécuté la procédure d'entrée en communication et sollicité le programme, l'ordinateur réagit avec le bloc début.

```
**********************************************
*                                            *
*                ENERPUB - 1                 *
*                                            *
*            VERSION DE PROGRAMME 1.2        *
*        ENERMODAL ENGINEERING LIMITED       *
*              JUILLET 1982                  *
*                                            *
**********************************************
```

ÉLABORÉ PAR:

ENERMODAL ENGINEERING LIMITED
421 KING STREET NORTH
WATERLOO, ONTARIO N2J 4E4
(519) 884-6421

INSTALLATION DE CHAUFFAGE SOLAIRE
À LIQUIDE AVEC POMPE À CHALEUR ET
STRATIFICATION DU STOCKAGE

Le programme demande à l'utilisateur d'indiquer le type d'installation et si les tuyaux et le réservoir sont enfouis.

```
INDIQUER LE TYPE D'INSTALLATION...
    0 - CHAUFFAGE SOLAIRE NORMAL DES LOCAUX (SANS POMPE A CHALEUR)
    1 - POMPE À CHALEUR ET CHAUFFAGE SOLAIRE EN SÉRIE
    2 - POMPE À CHALEUR ET CHAUFFAGE SOLAIRE EN PARALLÈLE
    3 - APPORT SOLAIRE À LA POMPE À CHALEUR SEULEMENT
    4 - DÉGOURDISSAGE DU MAZOUT (SANS POMPE À CHALEUR)

DÉSIREZ-VOUS UNE ANALYSE ÉCONOMIQUE? (O/N)

LE RÉSERVOIR OU LES TUYAUX SONT-ILS ENFOUIS? (O/N)
```

Le programme fera paraître le message suivant:

```
INSTRUCTIONS...
    L - POUR OBTENIR LA LISTE DES DONNÉES
    R - POUR EXÉCUTER LE PROGRAMME (AVEC LA LISTE)
    C - POUR CHANGER DE TYPE D'INSTALLATION
    S - POUR ARRÊTER LA SEANCE OU ...
POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
```

Ici, l'utilisateur peut choisir parmi plusieurs commandes. S'il introduit...

"L" - le programme liste tous les paramètres et leur valeur présente.

"R" - le programme liste tous les paramètres et commence la simulation.

"C" - on peut changer de type d'installation et modifier la température du sol.

"S" - la séance est interrompue.

un chiffre - le programme sollicite la nouvelle valeur de ce paramètre.

Normalement, l'utilisateur veut modifier les données d'entrée. Le code numérique est indiqué en début de ligne pour chaque variable.

Lorsque les données sont exactes, l'utilisateur doit taper "R". Le programme demande alors le titre du passage. Ce titre n'a aucune influence sur les calculs du programme et ne sert qu'à distinguer les passages en machine. Le titre peut compter jusqu'à 72 caractères sur une seule ligne.

INTRODUIRE LE TITRE DU PASSAGE
passage-exemple

Après avoir introduit le titre, la simulation commence. Le programme imprime le titre et les paramètres.

PASSAGE-EXEMPLE

*** LISTE DES DONNÉES D'ENTRÉE ***

* DONNEES GENERALES

1. ANNÉE DE DÉPART DE LA SIMULATION.....	1970
2. PÉRIODE DE SIMULATION (JOURS).....	365
3. JOUR 1 DE LA PÉRIODE (1-365)	1
4. SORTIE DETAILLÉE SUR IMPRIMANTE (NON=0, OUI=INTERVAL 1-H)..	0
5. HEURE 1 DE L'INTERVAL DE SORTIE (0,...,1).....	0
6. INCLINAISON DES CAPTEURS (DEGRÉS).....	55.00
7. ORIENTATION DES CAPTEURS (SUD=0, DEGRÉS).....	0.00

* DONNÉES DES CAPTEURS

10. SURFACE BRUTE DES CAPTEURS (M2).....	100.00
11. TEMPÉRATURE DE SORTIE MAXIMALE DES CAPTEURS.....	98.
12. DIFF. DE TEMP. NÉCESSAIRE ENTRE CAPTEURS ET STOCKAGE (C)..	1.7
13. PUISSANCE DES POMPES 1 ET 2/SURFACE DE CAPTEURS (W/M2)....	10.
14. DÉBIT * CAPACITÉ CALORIFIQUE (W/M2.C).....	60.
15. FR-TAU-ALPHA (MODIFIÉ).....	0.710
16. FR-UL (MODIFIÉ) (W/M2.C).....	3.910
17. BO, INDICE DU MODIFICATEUR DE L'ANGLE D'INCIDENCE.....	-0.100
18. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR CAPTEURS-STOCKAGE.....	1.0

* DONNÉES DU STOCKAGE

20. VOLUME DU STOCK./SURFACE DE CAPT. (M3/M2).....	0.075
21. TEMPÉRATURE DE DÉPART (C).....	20.00
22. TEMPÉRATURE AMBIANTE (C).....	20.00
23. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSUS (W/C).....	0.00

24. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DES CÔTÉS (W/C)..... 0.00
25. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSOUS (W/C)..... 0.00
26. NOMBRE DE STRATIFICATIONS DU RÉSERVOIR..... 1
27. RETOUR DES CAPT. AU NIVEAU #..... 1
28. RETOUR DU BÂTIMENT AU NIVEAU #..... 1
29. TEMP. MIN. ADMISSIBLE DU STOCKAGE (C)..... 4.00

* DONNÉES DE LA POMPE À CHALEUR

30. LIMITE DE TEMP. INFÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)..... 0.0
31. LIMITE DE TEMP. SUPÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)..... 35.0
32. COEF. CQ, COEF. CP DE LA POMPE À CHALEUR:
    5.000 448.000 15473.000
    0.000 103.000 5767.000

* DONNÉES DU BÂTIMENT

40. COEFFICIENT UA DU BÂTIMENT (W/C).....1000.00
41. PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LE VENTILATEUR (W)..... 0.
42. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR STOCK.-BÂTIMENT..... 0.700
43. ÉNERGIE EMMAGASINÉE PAR LE CORPS DE CHAUFFE (W/C)..... 3000.
44. COEF. D'APPORT SOLAIRE DIRECT (M2)..... 0.00
45. TEMPÉRATURE INTÉRIEURE DE CALCUL (C)..... 20.00
46. APPORTS INTERNES HORAIRES (KJ)

0.	0.	0.	0.	0.	1800.
3600.	2700.	5400.	4500.	1800.	3600.
4500.	3600.	2700.	2700.	1800.	16200.
6300.	2700.	2700.	2700.	1800.	1800.

* DONNÉES DE LA DEMANDE D'EAU CHAUDE

50. TEMPÉRATURE DE L'EAU DE LA CONDUITE PRINCIPALE (C)..... 6.00
51. TEMPÉRATURE VOULUE DE L'EAU (C)..... 40.00
52. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR POUR L'EAU CHAUDE..... 0.50
53. DEMANDE HORAIRE D'EAU CHAUDE (LITRES)

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.

* DONNÉES DE LA TUYAUTERIE

60. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DES CAPT. (W/C)..... 0.00
61. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DES CAPT. (C)..... 20.0
62. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DES CAPT. (W/C)... 0.00
63. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DES CAPT. (C)..... 20.0
64. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DU BÂTIMENT (W/C). 0.00
65. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DU BATIMENT (C)..... 20.0
66. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DU BÂTIMENT (W/C)... 0.00
67. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DU BÂTIMENT (C)..... 20.0

* DONNÉES ÉCONOMIQUES

70. DURÉE DE VIE DE L'INSTALLATION (ANNÉES)..... 20
71. DURÉE DU PRÊT (ANNÉES)..... 20
72. TAUX D'INTÉRÊT DU PRÊT (P. CENT).....10.000
73. TAUX DE RENTABILITÉ (TAUX D'EXCOMPTE) (P. CENT).....10.000
74. COÛTS FIXES DES COMPOSANTS SOLAIRES ($)..... 830.
75. COÛTS FIXES DE LA POMPE À CHALEUR ($)..... 2180.
76. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DES COMP. SOLAIRES ($/ANNEE).. 50.
77. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DE LA PAC ($/ANNEE)..... 50.
78. VALEUR DE RÉCUPERATION À LA FIN DE LA PÉRIODE ($)..... 0.
79. COÛT UNITAIRE DES CAPTEURS ($/M2)..... 230.
80. COÛT UNITAIRE DU STOCKAGE ($/M3)..... 122.
81. COÛT UNITAIRE ACTUEL DU COMBUSTIBLE ($/GJ).....10.000
82. TAUX D'INFLATION CENTILE DE L'ÉNERGIE:

13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

S'il s'agit du premier passage, le rayonnement solaire sur le capteur incliné doit être calculé. Pour traiter les données climatiques, le programme demande à l'usager d'indiquer la latitude de l'endroit.

INTRODUIRE LA LATITUDE DE L'ENDROIT (DEG.)
45.
EXÉCUTION DU TRAITEMENT DES DONNÉES CLIMATIQUES...

Si l'inclinaison et l'azimuth des capteurs, ou le premier jour de la période ne changent pas lors de passages successifs, le programme saute la section du traitement des données climatiques.

Après traitement des données climatiques, la simulation commence. Lorsque la simulation est terminée, les résultats sont imprimés.

DÉBUT DE SIMULATION...

* SURFACE DE CAPTEURS: 100.00 M2
* VOLUME DU STOCKAGE: 7.50 M3

*** RÉSUME DE L'ANALYSE ÉNERGETIQUE ***

M	INSOLATION (GJ)	SOLAIRE ABSORBÉ (GJ)	SOLAIRE UTILISÉ (GJ)	PAC UTILISÉ (GJ)	DEMANDE LOCAUX (GJ)	APPOINT LOCAUX (GJ)	DEMANDE EAU CH. (GJ)	APPOINT EAU CH. (GJ)	PUISSANCE POMPE (GJ)
1	38.94	15.91	15.87	0.00	86.07	70 20	0.00	0.00	0.00

etc.

AN

** ÉNERGIE TOTALE CONSOMMÉE PAR UNE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DE RÉFÉRENCE AU COURS DE LA PÉRIODE SIMULÉE, GJ: 451.449

** ÉCONOMIE D'ÉNERGIE: 36.41 P. CENT

** COEFFICIENT DE PERFORMANCE SAISONNIER: 1.57

** ÉNERGIE D'ENTRÉE HORAIRE MAXIMALE (MJ): 179.447

** GAIN D'ÉNERGIE DU STOCKAGE (GJ): 0.036

*** ANALYSE ÉCONOMIQUE ***

** VALEUR ACTUELLE (CHAUFFAGE D'APPOINT COMPRIS) ($): 92614.63
(CHAUFFAGE D'APPOINT NON COMPRIS) ($): 27776.34

** COÛT UNITAIRE GLOBAL (CUG), $/GJ: 10.257

** CUG DE L'ÉNERGIE SOLAIRE, $/GJ: 8.450

POUR MODIFIER LES PARAMÈTRES, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
s

Le programme répond avec le message guide-opérateur "POUR MODIFIER LES PARAMÈTRES, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE". Si l'utilisateur a terminé, il doit taper "s" pour l'arrêt du programme ou modifier les paramètres au besoin et réexécuter le programme.

La simulation d'une installation de dégourdissage du mazout est indiquée ci-dessous. L'utilisateur doit prendre note des paramètres qui doivent être modifiés.

```
   INDIQUER LE TYPE D'INSTALLATION...
       0 - CHAUFFAGE SOLAIRE NORMAL DES LOCAUX (SANS POMPE À CHALEUR)
       1 - POMPE À CHALEUR ET CHAUFFAGE SOLAIRE EN SÉRIE
       2 - POMPE À CHALEUR ET CHAUFFAGE SOLAIRE EN PARALLÈLE
       3 - APPORT SOLAIRE À LA POMPE À CHALEUR SEULEMENT
       4 - DÉGOURDISSAGE DU MAZOUT (SANS POMPE À CHALEUR)
4
   DÉSIREZ-VOUS UNE ANALYSE ÉCONOMIQUE? (O/N)
n
   LE RÉSERVOIR OU LES TUYAUX SONT-ILS ENFOUIS? (O/N)
n
   INSTRUCTIONS...
       L - POUR OBTENIR LA LISTE DES DONNÉES
       R - POUR EXÉCUTER LE PROGRAMME (AVEC LA LISTE)
       C - POUR CHANGER DE TYPE D'INSTALLATION
       S - POUR ARRÊTER LA SÉANCE OU...
   POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
11
   INTRODUIRE LA NOUVELLE VALEUR DU PARAMÈTRE 11
55
   POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
51
   INTRODUIRE LA NOUVELLE VALEUR ...



   POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
53
   INTRODUIRE 24 VALEURS DE LA DEMANDE D'EAU CHAUDE (LITRES)
0  0  0  0  0  0  0  0  0  100  100  200...


   POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
r
   INTRODUIRE LE TITRE DU PASSAGE
passage exemple #2
1

   PASSAGE EXEMPLE #2

                        ***  LISTE DE DONNÉES D'ENTRÉE  ***

   * DONNÉES GENERALES

       1. ANNÉE DE DEPART DE LA SIMULATION
       2. PÉRIODE DE SIMULATION (JOURS)
       3. JOUR 1 DE LA PÉRIODE (1-365)
       4. SORTIE DETAILLÉE SUR IMPRIMANTE (NON=0, OUI=INTERVAL 1-H
       5. HEURE 1 DE L'INTERVAL DE SORTIE (0,...,1)
       6. INCLINAISON DES CAPTEURS (DEGRÉS)
       7. ORIENTATION DES CAPTEURS (SUD 0, DEGRÉS)
```

* DONNÉES DES CAPTEURS

10. SURFACE BRUTE DES CAPTEURS (M2)
11. TEMPÉRATURE DE SORTIE MAXIMALE DES CAPTEURS (C)
12. DIFF. DE TEMP. NÉCESSAIRE ENTRE CAPTEURS ET STOCKAGE (C)
13. PUISSANCE DES POMPES 1 ET 2/SURFACE DE CAPTEURS (W/M2)
14. DÉBIT * CAPACITÉ CALORIFIQUE (W/M2.C)
15. FR-TAU-ALPHA (MODIFIÉ)
16. FR-UL (MODIFIÉ) (W/M2.C)
17. BO, INDICE DU MODIFICATEUR DE L'ANGLE D'INCIDENCE
18. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR CAPTEURS-STOCKAGE

* DONNÉES DU STOCKAGE

20. VOLUME DU STOCK./SURFACE DE CAPT. (M3/M2)
21. TEMPÉRATURE DE DÉPART (C)
22. TEMPÉRATURE AMBIANTE (C)
23. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSUS (W/C)
24. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DES CÔTÉS (W/C)
25. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSOUS (W/C)
26. NOMBRE DE STRATIFICATIONS DU STOCKAGE
27. RETOUR DES CAPT. AU NIVEAU #
28. RETOUR DU BÂTIMENT AU NIVEAU #
29. TEMP. MIN. ADMISSIBLE DU STOCKAGE (C)

* DONNÉES DE LA POMPE À CHALEUR

30. LIMITE DE TEMP. INFÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)
31. LIMITE DE TEMP. SUPÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)
32. COEF. CQ, COEF. CP DE LA POMPE À CHALEUR:

* DONNÉES DU BÂTIMENT

40. COEFFICIENT UA DU BÂTIMENT (W/C)
41. PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LE VENTILATEUR (W)
42. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR STOCK./BÂTIMENT
43. ÉNERGIE EMMAGASINÉE PAR LE CORPS DE CHAUFFE (W/C)
44. COEF. D'APPORT SOLAIRE DIRECT (M2)
45. TEMPÉRATURE INTÉRIEURE DE CALCUL (C)
46. APPORTS INTERNES HORAIRES (KJ)

* DONNÉES DE LA DEMANDE D'EAU CHAUDE

50. TEMPÉRATURE DE L'EAU DE LA CONDUITE PRINCIPALE (C)
51. TEMPÉRATURE VOULUE DE L'EAU (C)
52. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR POUR L'EAU CHAUDE
53. DEMANDE HORAIRE D'EAU CHAUDE (LITRES)

* DONNÉES DE LA TUYAUTERIE

60. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DES CAPT. (W/C)
61. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DES CAPT. (C)
62. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DES CAPT. (W/C)
63. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DES CAPT. (C)
64. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DU BÂTIMENT (W/C)
65. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DU BÂTIMENT (C)
66. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DU BÂTIMENT (W/C)
67. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DU BÂTIMENT (C)

DÉBUT DE SIMULATION...

* SURFACE DE CAPTEURS: 100.00 M2
* VOLUME DU STOCKAGE: 500.00 M3

****
* RÉSUME DE L'ANALYSE ENERGETIQUE *
****

M	INSOLATION (GJ)	SOLAIRE ABSORBÉ (GJ)	SOLAIRE UTILISÉ (GJ)	PAC UTILISÉ (GJ)	DEMANDE LOCAUX (GJ)	APPOINT LOCAUX (GJ)	DEMANDE EAU CH. (GJ)	APPOINT EAU CH. (GJ)	PUISSANCE POMPE (GJ)
1	38.94	15.65	15.64	0.00	131.71	116.07	0.00	0.00	0.00

etc

AN

** ÉNERGIE TOTALE CONSOMMÉE PAR UNE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DE RÉFÉRENCE AU COURS DE LA PÉRIODE SIMULÉE, GJ: 855.771

** ÉCONOMIE D'ÉNERGIE: 28.88 P. CENT

** COEFFICIENT DE PERFORMANCE SAISONNIER: 1.41

** ÉNERGIE D'ENTRÉE HORAIRE MAXIMALE (MJ): 254.883

** GAIN D'ÉNERGIE DU STOCKAGE (GJ): 0.000

ATTENTION: LE CHAUFFAGE D'APPOINT EST NÉCESSAIRE POUR MAINTENIR LA TEMPÉRATURE DU RÉSERVOIR AU-DESSUS DU MINIMUM! *

POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE
s

* voir la page 55.

3. PARAMÈTRES DE L'INSTALLATION

Les sections qui suivent décrivent les paramètres utilisés dans le programme machine ENERPUB. Les valeurs implicites de ces paramètres sont données à la section B. On doit s'assurer que les valeurs d'entrées sont dans les bonnes unités.

3.1 Définition des paramètres

Paramètres généraux

1. ANNÉE DE DÉPART DE LA SIMULATION

   Année pour laquelle on utilise les données climatiques(voir la section 3.2 pour les valeurs).

2. PÉRIODE DE SIMULATION (JOURS)

   Nombre de jours pour lequel la simulation est exécutée (normalement 365 ou moins, la période minimale étant d'environ 7 jours).

3. JOUR 1 DE LA PÉRIODE (1-365)

   Première journée de la période de simulation. Le 1 janvier est le premier jour, le 1 septembre est le 244ième jour, etc. Si on modifie ce paramètre lors de passages successifs, les données climatiques sont automatiquement traitées à nouveau.

4. SORTIE DETAILLÉE SUR IMPRIMANTE (NON=0, OUI=INTERVAL 1-H)

   Lorsque cette valeur est 0, on obtient un resumé mensuel de rendement. Si elle est supérieure à 0, on obtient un résumé de rendement horaire pour l'heure indiquée. Si on introduit 6 par exemple, un résumé de rendement est imprimé pour la sixième heure à toutes les six heures et non pour la période complète de 6 heures.

5. HEURE 1 DE L'INTERVAL DE SORTIE (0,...,1)

   L'heure à laquelle doit débuter la sortie imprimée détaillée si le paramètre 4 n'est pas égal à zéro.

6. INCLINAISON DES CAPTEURS (DEGRES)

   L'angle d'inclinaison des capteurs à partir de l'horizontale entre 0 et 90 degrés. Si ce paramètre est modifié lors de passages successifs, les données climatiques sont automatiquement traitées à nouveau.

7. ORIENTATION DES CAPTEURS (SUD=0, DEGRES)

L'écart en degrés entre le sud franc et l'orientation des capteurs de -90 à 90 (l'est est positif, l'ouest est négatif). Si ce paramètre est modifié lors de passages successifs, les données climatiques sont automatiquement traitées à nouveau.

Paramètres des capteurs

10. SURFACE BRUTE DES CAPTEURS (M2)

La surface brute des capteurs en mètres carrés.

11. TEMPÉRATURE DE SORTIE MAXIMALE DES CAPTEURS (C)

La température maximale de sortie du fluide des capteurs en degrés Celsius, normalement légèrement en-dessous du point d'ébulition de l'eau (98°C). Pour l'installation de dégourdissage du mazout, cette température devient égale à la température maximale admissible du mazout.

12. DIFF. DE TEMP. NÉCESSAIRE ENTRE CAPTEURS ET STOCKAGE (C)

La différence de température prévue entre le fond du réservoir de stockage et la température moyenne des capteurs pour que le circuit capteurs-stockage se mette en marche.

13. PUISSANCE DES POMPES 1 et 2/SURFACE DES CAPTEURS (W/M2)

La puissance nécessaire des pompes pour transporter la chaleur des capteurs au stockage par unité de surface de capteur. Ce paramètre doit comprendre la puissance des pompes 1 et 2. Dans le cas d'une installation à circuit fermé, la puissance de pompe est généralement égale à 10.W/m^2.

14. DÉBIT * CAPACITÉ CALORIFIQUE (W/M2-C)

Le débit du fluide caloporteur multiplié par sa capacité calorifique par unité de surface de capteur. Cette valeur se situe normallement à 55 W/m^2·°C mais les résultats d'essai des capteurs peuvent être obtenus sur les fiches techniques.

15. FR-TAU-ALPHA (MODIFIÉ)

La valeur $F_R\tau\alpha$ des capteurs d'après les essais de rendement certifiés sur leur surface brute, disponible sur les fiches techniques. Si le paramètre 14. n'est pas égal au débit d'essai, la valeur $F_R\tau\alpha$ doit être modifiée selon la section 3.4.

16. FR-UL (W/M2-C) (MODIFIÉ)

La valeur $F_R U_L$ des capteurs d'après les essais de rendement certifiés sur leur surface brute, disponible sur les fiches techniques. Si le paramètre 14. n'est pas égal au débit d'essai, la valeur $F_R U_L$ doit être modifiée selon la section 3.4.

17. BO, MODIFICATEUR DE L'ANGLE D'INCIDENCE

Coefficient qui réduit la transmission solaire des capteurs aux angles d'incidence qui s'écartent de la normale selon la formule $K = 1. + b_o(1./\cos\theta - 1.)$. La valeur b_o est généralement négative et disponible sur les fiches techniques. Si les résultats d'essai ne sont pas disponibles, utiliser -0.10 pour les capteurs à vitrage simple et -0.175 pour les capteurs à vitrage double.

18. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR CAPTEURS-STOCKAGE

Le rendement de l'échangeur de chaleur entre les capteurs et le stockage doit se situer entre 0 et 1. Pour le cas d'une installation à vidange de circuit, ce paramètre est égal à 1.

Paramètre du stockage

20. VOLUME DU STOCK./SURFACE DE CAPT. (M3/M2)

Le rapport du volume de stockage à la surface des capteurs, normallement 0.075 pour le stockage à court terme et 5.0 pour le stockage saisonnier ou annuel. La taille minimale du stockage pour assurer la stabilité est d'environ 0.04 m^3/m^2.

21. TEMPÉRATURE DE DÉPART (C)

La température de départ du stockage en degré Celsius. Ce paramètre est important pour de courtes périodes de simulation avec stockage annuel à cause de la taille considérable de la masse thermique par rapport à l'énergie absorbée. Une valeur normale pour le 1 janvier est de 20°C.

22. TEMPÉRATURE AMBIANTE (C)

La température de l'air au voisinage du stockage, normallement la température du bâtiment pour un réservoir placé à l'intérieur. Dans le cas d'un stockage à l'extérieur, introduire la valeur -100. Cette dernière signale au programme que les pertes de chaleur du stockage se font à l'air ambiant. Introduire -200 s'il s'agit d'un stockage enterré. Il est à remarquer qu'il faut introduire les températures mensuelles du sol en début de programme. La section 3.3 discute des valeurs normales de température du sol.

23. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSUS (W/C)
24. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DES CÔTÉS (W/C)
25. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. DU DESSOUS (W/C)

Les coefficients de déperdition calorifiques du dessus, des côtés et du dessous du réservoir de stockage, respectivement, soit la surface multipliée par la valeur U totale de l'isolant et de la paroi du réservoir. La valeur isolante du sol n'a pas à être incluse si on a utilisé les températures du sol de la section 3.3.

26. NOMBRE DE STRATIFICATIONS DU RÉSERVOIR

Le nombre de segments égaux selon lequel le réservoir doit être divisé pour les besoins de la modélisation. Ce paramètre est égal à 1 pour un réservoir à mélange complet. Dans le cas d'un stockage comportant plusieurs réservoirs ou d'un ballon haut et étroit, ce paramètre doit être supérieur à 1 (valeur maximale de 6). Voir la figure 1, page 3.

27. RETOUR DES CAPT. AU NIVEAU #

Niveau auquel s'effectue le retour du fluide des capteurs, le segment #1 étant le premier à la partie supérieure (normallement 1).

28. RETOUR DU BÂTIMENT AU NIVEAU #

Niveau auquel retourne le fluide du bâtiment, normallement la même valeur qu'au paramètre 26.

29. TEMP. MIN. ADMISSIBLE DU STOCKAGE (C)

La température minimale admissible de l'eau du stockage (ou du mazout le cas échéant). La valeur implicite est de 4°C. Si la température du stockage baisse en-dessous de cette valeur, le programme imprime un avertissement et suppose qu'un chauffage d'appoint amènera la température de l'eau à la température minimale.

Paramètres de la pompe à chaleur

30. LIMITE DE TEMP. INFÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)

La plus basse température de la source froide à laquelle la pompe la chaleur peut fonctionner.

31. LIMITE DE TEMP. SUPÉRIEURE DE L'ÉVAPORATEUR (C)

La plus haute température de la source froide à laquelle la pompe à chaleur peut fonctionner.

32. COEF. CQ, COEF. CP DE LA POMPE À CHALEUR

Trois coefficients de la chaleur restituée par la pompe à chaleur en fonction de la température de la source et trois coefficients de la chaleur consommée par la pompe à chaleur en fonction de la température de la source en kJ/h.

c.-à-d. $\dot{Q}_{pac} = a_1T^2 + a_2T + a_3$

$P_{pac} = b_1T^2 + b_2T + b_3$

Si ces coefficients ne sont pas connus, le programme demandera à l'utilisateur d'introduire des coordonnées de la courbe de performance de la pompe à chaleur, soit 3 valeurs de la température de la source (C), de la puissance restituée (W) et de la puissance consommée (W). Le programme peut produire les coefficients nécessaires avec ces coordonnées.

Paramètres du bâtiment

40. COEFFICIENT UA DU BÂTIMENT (W/C)

Le coefficient de déperdition calorifique calculé d'après le "ASHRAE Handbook of Fundamentals," y compris l'infiltration.

41. PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LE VENTILATEUR (W)

Note du traducteur: dans la version anglaise, le paramètre 41 en sortie sur imprimante se lit "Power for heating fan" alors que dans les explications de la présente section il se lit "Power for heating pumps".

Puissance nécessaire au fonctionnement des pompes 3 et 4 et du ventilateur de circulation du bâtiment (le cas échéant).

42. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR STOCK.-BÂTIMENT

Le rendement de l'échangeur de chaleur entre le stockage et le bâtiment (EC_b) doit être entre 0 et 1.

43. ÉNERGIE EMMAGASINÉE PAR LE CORPS DE CHAUFFE (W/C)

Le débit minimal multiplié par la capacité calorifique du fluide d'un côté ou de l'autre du corps de chauffe (échangeur thermique du bâtiment). Cette valeur est généralement égale à un à trois fois la valeur du coefficient de déperdition calorifique du bâtiment.

44. COEF. D'APPORT SOLAIRE DIRECT (M2)

La surface des fenêtres orientées vers le sud utilisées pour le chauffage solaire passif. Si les fenêtres ont une superficie beaucoup plus grande que 5 p. cent de l'aire de plancher, la contribution solaire passive pourrait être largement surestimée et le programme ne conviendrait pas.

45. TEMPÉRATURE INTÉRIEURE DE CALCUL (C)

La température moyenne à l'intérieur du bâtiment.

46. APPORTS INTERNES HORAIRES (KJ)

24 valeurs des apports internes horaires du bâtiment provenant de l'éclairage, de l'équipement, des personnes, etc.

Paramètres de la demande d'eau chaude

50. TEMPÉRATURE DE L'EAU DE LA CONDUITE PRINCIPALE (C)

La température moyenne de l'eau (ou du mazout) d'approvisionnement des canalisations de la ville ou du puits. En général, elle est égale à la température ambiante moyenne sur l'année.

51. TEMPÉRATURE VOULUE DE L'EAU (C)

La température voulue de l'eau d'alimentation (c.-à-d. la température à laquelle le chauffe-eau d'appoint est réglé). Dans le cas d'une installation de dégourdissage du mazout, ce paramètre doit être égal à la température maximale admissible du mazout (voir le paramètre 11).

52. RENDEMENT DE L'ÉCHANGEUR POUR L'EAU CHAUDE

Le rendement de l'échangeur de l'eau chaude domestique dans le réservoir de stockage doit être entre 0 et 1.

53. DEMANDE HORAIRE D'EAU CHAUDE (LITRES)

24 valeurs de la demande d'eau chaude (ou de mazout).

Paramètres de la tuyauterie

60. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DES CAPT. (W/C)

La déperdition calorifique par degré Celsius de la tuyauterie de retour des capteurs (c'est-à-dire la région 1) (voir la section 3.5).

61. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DES CAPT. (C)

La température de l'air ambiant de la tuyauterie du paramètre 60. Utiliser -100 pour la tuyauterie à l'intérieur et -200 pour la tuyauterie dans le sol.

62. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DES CAPT. (W/C)

La déperdition calorifique par degré Celsius de la tuyauterie d'alimentation des capteurs (c.-à-d. la région 2) (voir la section 3.5).

63. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DES CAPT. (C)

La température de l'air ambiant de la tuyauterie du paramètre 62. (-100 à l'intérieur, -200 dans le sol.)

64. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - ALIMENT. DU BÂTIMENT (W/C)

La déperdition calorifique par degré Celsius de la tuyauterie

65. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DU BÂTIMENT (C)

La température de l'air ambiant de la tuyauterie du paramètre 64. (-100 à l'intérieur, -200 dans le sol.)

66. COEF. DE DÉPERDITION CALOR. - RETOUR DU BÂTIMENT (W/C)

La déperdition calorifique par degré Celsius de la tuyauterie de retour du bâtiment (c.-à-d. la région 4) (voir la section 3.5).

67. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DU BÂTIMENT (C)

La température de l'air ambiant de la tuyauterie du paramètre 66. (-100 à l'intérieur, -200 dans le sol.)

Paramètres économiques

70. DURÉE DE VIE DE L'INSTALLATION (ANNÉES)

Le nombre d'années visées par l'analyse économique, c.-à-d. la durée de vie de l'installation solaire, normallement 20 ans.

71. DURÉE DU PRÊT (ANNÉES)

Nombre d'années nécessaires pour rembourser le prêt pour l'équipement solaire.

72. TAUX D'INTÉRÊT DU PRÊT (P. CENT)

Pourcentage d'intérêt sur le paramètre 71.

73. TAUX DE RENTABILITÉ (TAUX D'ESCOMPTE) (P. CENT)

Le taux de rentabilité du meilleur investissement possible autre que celui-ci en pour cent.

74. COÛTS FIXES DES COMPOSANTS SOLAIRES ($)

Le coût fixe des composants solaires installés, pompe à chaleur non comprise.

75. COÛTS FIXES DE LA POMPE À CHALEUR ($)

Le coût fixe de la pompe à chaleur installé.

76. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DES COMPOSANTS SOLAIRES ($/ANNÉE)

Le coût annuel de l'entretien des composants solaires, pompe à chaleur non comprise.

77. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DE LA PAC ($/ANNÉE)

Les frais d'entretien annuels de la pompe à chaleur.

78. VALEUR DE RÉCUPERATION À LA FIN DE LA PÉRIODE ($)

La valeur de récupération de l'installation solaire à la fin de la période prescrite au paramètre 70.

79. COÛT UNITAIRE DES CAPTEURS ($/M2)

Le coût par mètre carré de capteur installé sans compter le stockage et les coûts fixes des paramètres 74. et 75.

80. COÛT UNITAIRE DU STOCKAGE ($/M3)

Le coût du réservoir installé par mètre cube de stockage.

81. COÛT UNITAIRE ACTUEL DU COMBUSTIBLE ($/GJ)

Le coût du combustible remplacé y compris le rendement saisonnier du chauffage d'appoint. Cette valeur varie de 5 à 15 selon l'emplacement et le combustible.

82. TAUX D'INFLATION CENTILE DE L'ÉNERGIE (P. CENT)

20 valeurs de l'augmentation annuelle prévue du mazout.

3.2 Données climatiques

À l'heure actuelle, le programme peut utiliser les données climatiques des 46 villes énumérées ci-dessous. Les données sur le rayonnement solaire du Service de l'environnement atmosphérique sont soit mesurées, soit calculées. Les données mesurées proviennent des enregistrements de leurs appareils de surveillance (les données manquantes sont évaluées à partir des données de la journée précédente). Les données calculées sont établies à l'aide d'autres données météorologiques comme la précipitation, l'ennuagement, etc.

Ville	Province	Latitude (degrés)	Année	Rayon. solaire Calculé/Mesuré
Victoria	C.-B.	48.7	1971	C
Prince Georges	C.-B.	53.9	1974	M
Vancouver	C.-B.	49.2	1971	M
Summerland	C.-B.	49.6	1971	C
Frobisher Bay	T.N.-O.	63.8	1975	C
Resolute	T.N.-O.	74.7	1971	M
Edmonton	Alta	53.6	1971	M
Medecine Hat	Alta	50.0	1971	C
Uranium City	Sask.	59.6	1971	C
Swift Current	Sask.	50.3	1971	C
Saskatoon	Sask.	52.2	1971	C

Churchill	Man.	58.8	1975	C
Brandon	Man.	49.9	1971	C
Winipeg	Man.	49.9	1971	M
The Pas	Man.	53.8	1971	M
Thunder Bay	Ont.	48.4	1971	C
Sault Ste-Marie	Ont.	46.5	1971	C
Sudbury	Ont.	46.5	1971	C
Kapuskasing	Ont.	49.4	1966	M
Kingston	Ont.	44.2	1971	C
Muskoka	Ont.	45.0	1971	C
Windsor	Ont.	42.3	1971	C
London	Ont.	43.0	1971	C
Toronto	Ont.	43.7	1971	M
Ottawa	Ont.	45.4	1971	M
Montréal	Qué.	45.5	1971	M
Sept-Iles	Qué.	50.2	1974	M
Québec	Qué.	46.8	1971	C
Sherbrooke	Qué.	45.4	1971	C
Rivière du Loup	Qué.	47.8	1971	C
Bagotville	Qué.	48.3	1971	C
Val D'Or	Qué.	48.0	1971	C
Fredericton	N.-B.	45.9	1971	M
Charlo	N.-B.	48.0	1971	C
Chatham	N.-B.	47.0	1971	C
Moncton	N.-B.	46.1	1971	C
St-John	N.-B.	45.3	1971	C
Charlottetown	I.P.E.	46.3	1971	C
Truro	N.-E.	45.4	1971	C
Halifax	N.-E.	44.7	1971	M
Sydney	N.-E.	46.2	1971	C
Yarmouth	N.-E.	43.8	1971	C
St-John's	T.-N.	47.6	1971	M
Gander	T.-N.	49.0	1971	C
Stephenville	T.-N.	48.5	1971	C
Goose Bay	T.-N.	53.3	1971	M

CARTE DES
Stations météorologiques du Canada

Montreal = Montréal
Quebec = Québec

3.3 Température du sol

Le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) mesure depuis quelque temps la température du sol à plusieurs endroits au Canada. Seuls 16 des endroits énumérés à la section 3.2 mesurent la température du sol dont les valeurs à des profondeurs de 0.5m et 1.5m sont données ci-dessous. Pour de plus amples renseignements sur les températures du sol, l'utilisateur peut consulter la publication du SEA intitulée "Soil Temperature Averages 1958-1978" par D.W. Phillips et D. Ashton, rapport n^{o} CLI13-79.

Prince Geaorges, C.-B.

Température du sol en ^{o}C à des profondeurs de 0.5 m et 1.5 m.

J F M A M J J A S O N D

etc.

N.d.t.: les noms des villes et provinces sont disponibles à la section 3.2.

3.4 Modification des résultats d'essai des capteurs

Le rendement d'un capteur solaire dépend du débit. Si le débit du capteur dans l'installation proposée est différent de celui utilisé lors des essais, les termes $F_R\tau\alpha$ et F_RU_L doivent être modifiés.

$$F_R \quad (\text{modifié}) = r \cdot F_R\tau\alpha_{(\text{essai})}$$

$$F_RU_L \ (\text{modifié}) = r \cdot F_RU_L \ (\text{essai})$$

où $$r = \frac{\dot{m}\, Cp\, (1 - \exp[-AF'U_L/(\dot{m}\, Cp)])}{(\dot{m}\, Cp)_T(1 - \exp[-AF'U_L/(\dot{m}\, Cp)_T])}$$

$$F'U_L = \frac{(\dot{m}\, Cp)_T}{A} \ln\left[1 - F_RU_L \ (\text{essai})\ A/(\dot{m}\, Cp)_T\right]$$

3.5 Calcul du coefficient de déperdition calorifique de la tuyauterie

La conductance thermique de l'isolant des tuyaux est donnée par:

$$U = \frac{2\pi k\, L}{\ln \frac{(d + 2t)}{d}} \qquad \text{en W/}^{o}\text{C}$$

où d est le diamètre extérieur du tuyau (mm)
t est l'épaisseur de l'isolant (mm)
L est la longueur du tuyau (m)
k est la conductivité thermique de l'isolant en $W/m^{o}C$

$k_{\text{fibre de verre}} \cong 0.0346\ W/m^{o}C$

$k_{\text{polyuréthane}} \cong 0.0245\ W/m^{o}C$

4. DESCRIPTION DES RÉSULTATS DU PROGRAMME

4.1 Résultats de l'analyse thermique

L'analyse thermique de l'installation est imprimée à intervals mensuels avec une récapitulation annuelle en fin de tableau. Ces résultats sont une évaluation du rendement d'une installation bien conçue et bien installée. Le programme ne peut tenir compte de tuyaux mal isolés ou des pannes de pompes ou d'autres appareils.

Les résultats sont:

INSOLATION (GJ)

Le rayonnement solaire incident total sur les capteurs au cours de la période considérée.

SOLAIRE ABSORBÉ (GJ)

L'énergie solaire transmise des capteurs au stockage.

SOLAIRE UTILISÉ (GJ)

L'énergie solaire distribuée aux locaux et à l'eau domestique (sans compter la contribution de la pompe à chaleur).

PAC UTILISÉ (GJ)

L'énergie distribuée aux locaux par la pompe à chaleur.

DEMANDE LOCAUX (GJ)

Demande en chauffage des locaux (c.-à-d. l'énergie d'appoint qui serait nécessaire pour satisfaire les besoins s'il n'y avait pas d'installation de chauffage solaire).

APPOINT LOCAUX (GJ)

Énergie complémentaire nécessaire pour satifaire les besoins de chauffage des locaux auxquels l'installation solaire n'a pas pu répondre.

DEMANDE EAU CH. (GJ)

Énergie nécessaire pour répondre aux besoins d'eau chaude domestique.

APPOINT EAU CH. (GJ)

Énergie complémentaire nécessaire pour satisfaire les besoins d'eau chaude domestique. La contribution solaire à la demande d'eau chaude est la différence entre cette valeur et la DEMANDE EAU CH.

PUISSANCE POMPE (GJ)

L'énergie totale consommée par les pompes et les ventilateurs dans l'installation, y compris la pompe à chaleur.

L' "ÉNERGIE TOTALE CONSOMMÉE PAR UNE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DE RÉFÉRENCE AU COURS DE LA PÉRIODE SIMULÉE" représente la demande d'énergie totale d'un bâtiment non solaire. Si on utilise un combustible plutôt que l'électricité, on doit diviser cette valeur par le rendement saisonnier du générateur de chaleur pour déterminer la quantité de combustible nécessaire. L' "ÉCONOMIE D'ÉNERGIE" est la réduction de la consommation d'énergie réalisée par l'installation de chauffage solaire (c.-à-d. le pourcentage solaire). Une autre façon de mesurer l'économie d'énergie est le "COEFFICIENT DE PERFORMANCE SAISONNIER". Ce dernier indique le nombre de fois que la consommation d'énergie du bâtiment non solaire dépasse la consommation d'énergie d'appoint du bâtiment solaire.+ L' "ÉNERGIE D'ENTRÉE HORAIRE MAXIMALE" indique l'énergie d'entrée maximale par heure du bâtiment solaire. Cette valeur est utile pour calculer la puissance du générateur de chaleur.

4.2 Analyse économique

À la fin de l'année simulée, l'analyse économique est effectuée et imprimée. Les résultats de l'analyse économique sont extrèmement sensibles au taux de glissement du prix du combustible.

La première entrée de la "VALEUR ACTUELLE" consiste en le coût total de mise en place et d'entretien de l'installation de chauffage solaire plus le coût du chauffage d'appoint pour la durée de vie de l'installation en dollars actuels. La seconde entrée concerne le coût de mise en place et d'entretien de l'installation solaire pour la durée de vie de l'installation en dollars actuels.

+ Par exemple, si le bâtiment non solaire consomme $100 d'électricité et que le bâtiment solaire consomme $50 d'électricité pour le chauffage d'appoint, le coefficient de performance saisonnier est alors égal à 2.

Le "COÛT UNITAIRE GLOBAL" est le coût moyen de chauffage du bâtiment pour la durée de vie de l'installation en dollars actuels (comprend le chauffage solaire). C'est-à-dire la première entrée de la valeur actuelle divisée par la demande totale d'énergie du bâtiment pour la durée de vie de l'installation. Le "CUG SOLAIRE" est le coût moyen de la contribution solaire en dollars actuels pour la durée de vie de l'installation.

5. ALGORITHME DU PROGRAMME

La présente section décrit les modèles et les équations thermodynamiques utilisées pour simuler l'installation de chauffage solaire.

5.1 Aperçu général du fonctionnement du programme

Le programme a pour hypothèse de base que pour les besoins de la prévision du rendement thermique, toutes les variables, y compris le rayonnement solaire, la température ambiante et ~~l'écoulement~~ les flux énergétiques de l'installation peuvent être considérés comme constants pour chaque heure.

L'organigramme de calcul est illustré à la figure 6. La première étape du programme consiste à introduire d'un fichier de données les valeurs implicites des paramètres. L'utilisateur peut alors modifier les paramètres au besoin. Après avoir fixé tous les paramètres, l'utilisateur lance la simulation (en tapant "r"). Si les données climatiques traitées ne sont pas disponibles, le rayonnement solaire sur la surface inclinée est calculé à partir de l'insolation horizontale du fichier de données météorologiques. Voir la section 5.2 pour une description détaillée de l'algorithme.

Lorsque le traitement des données climatiques est terminé, le programme commence la simulation. Pour chaque heure simulée, le programme lit une nouvelle valeur du rayonnement solaire et de la température ambiante. La demande de chauffage des locaux et la demande d'eau chaude domestique (si nécessaire) sont alors calculées à partir des nouvelles valeurs de la température ambiante. La demande de chauffage des locaux est égale à:

$$Q_1 = UA_b (T_b - T_a) - AI$$

L'étape suivante consiste à calculer la température d'entrée du fluide des capteurs. Cette température est égale à la température du fluide au fond du réservoir de stockage diminuée des pertes de chaleur dans la tuyauterie entre le stockage et les capteurs. L'algorithme de calcul des pertes de chaleur dans la tuyauterie est décrit en détail à la section 5.3. Connaissant la température du fluide d'entrée des capteurs et les conditions climatiques, le rendement des capteurs peut être déterminé. Voir la section 5.4 pour une description détaillée de l'algorithme de rendement des capteurs. Si les capteurs fonctionnent durant l'heure simulée, le programme calcule les pertes de chaleur dans la tuyauterie de retour des capteurs et la température d'entrée du fluide dans le stockage.

La prochaine étape consiste à déterminer la chaleur solaire utilisée. La température de l'eau distribuée au bâtiment peut être calculée à partir de la température de l'eau à la partie supérieure du réservoir et des pertes de chaleur dans la tuyauterie. La chaleur utilisée pour le chauffage de l'eau domestique devient égale à:

$$Q_{SDEC} = \varepsilon \cdot \frac{(T_{s1} - T_{cp})}{(T_r - T_{cp})} \cdot Q_{DEC}$$

où ε est le rendement de l'échangeur de chaleur

T_{s1} est la température à la partie supérieure du réservoir

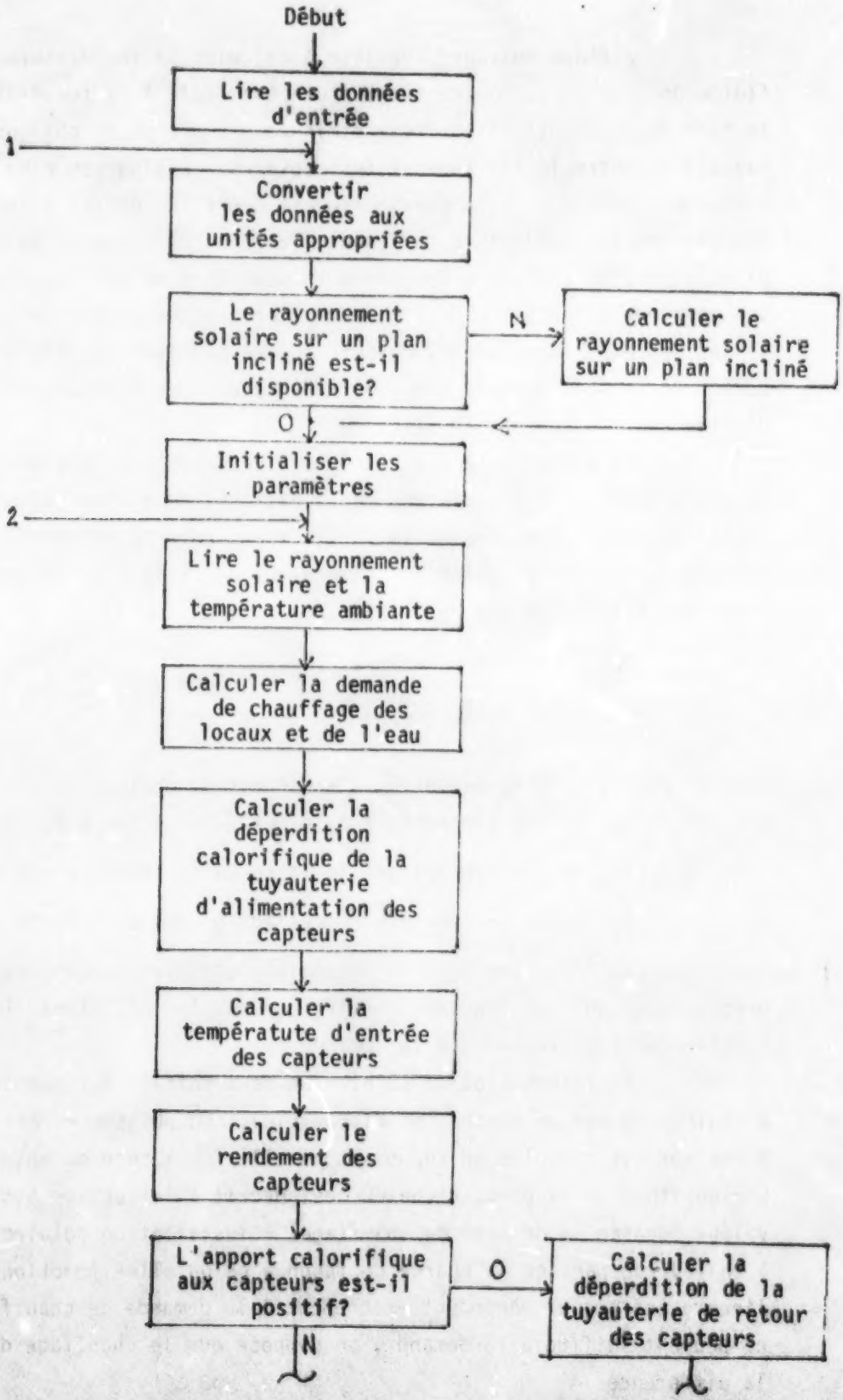
T_{cp} est la température de la conduite principale d'eau

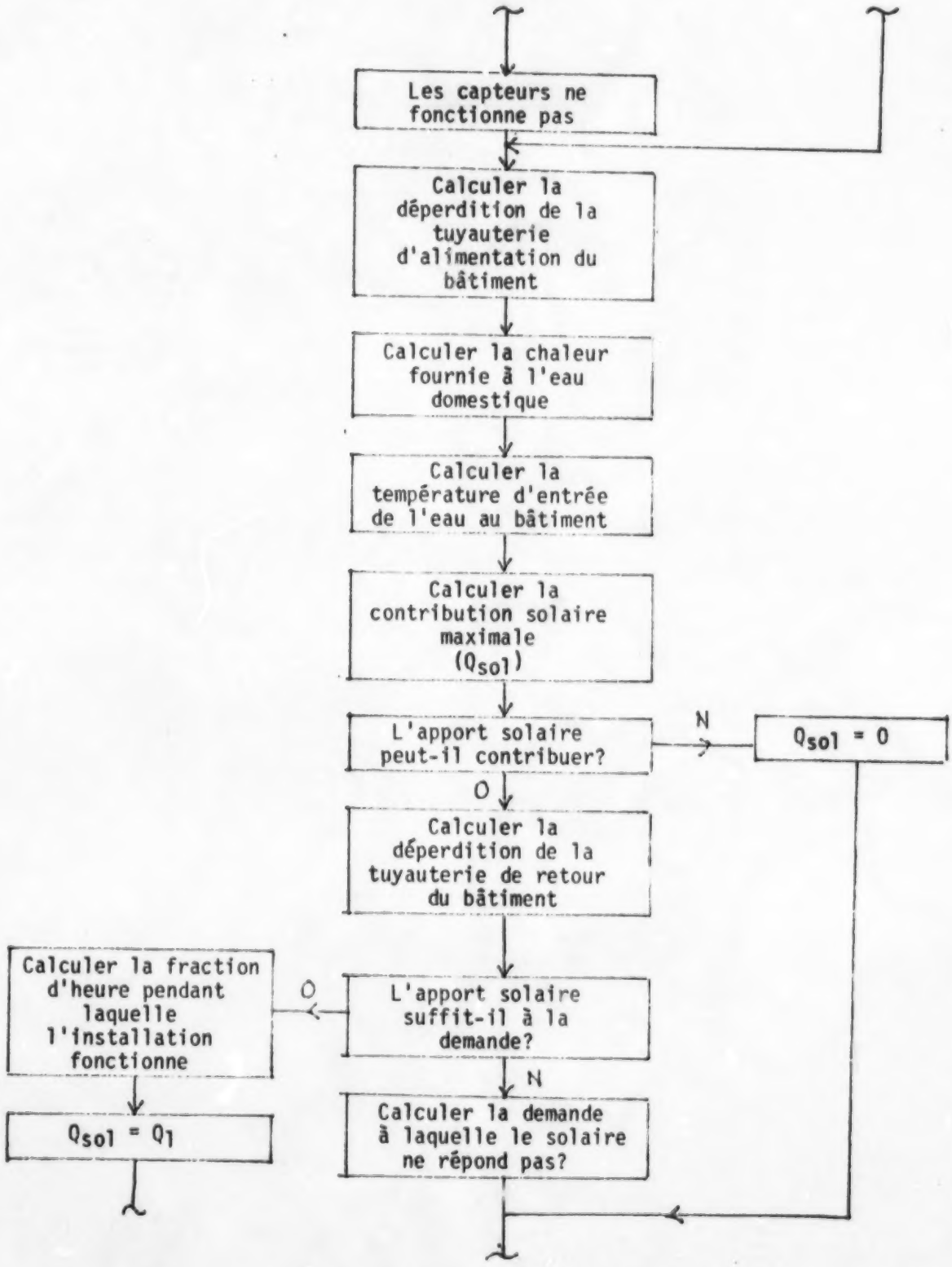
T_r est la température de réglage pour l'eau chaude

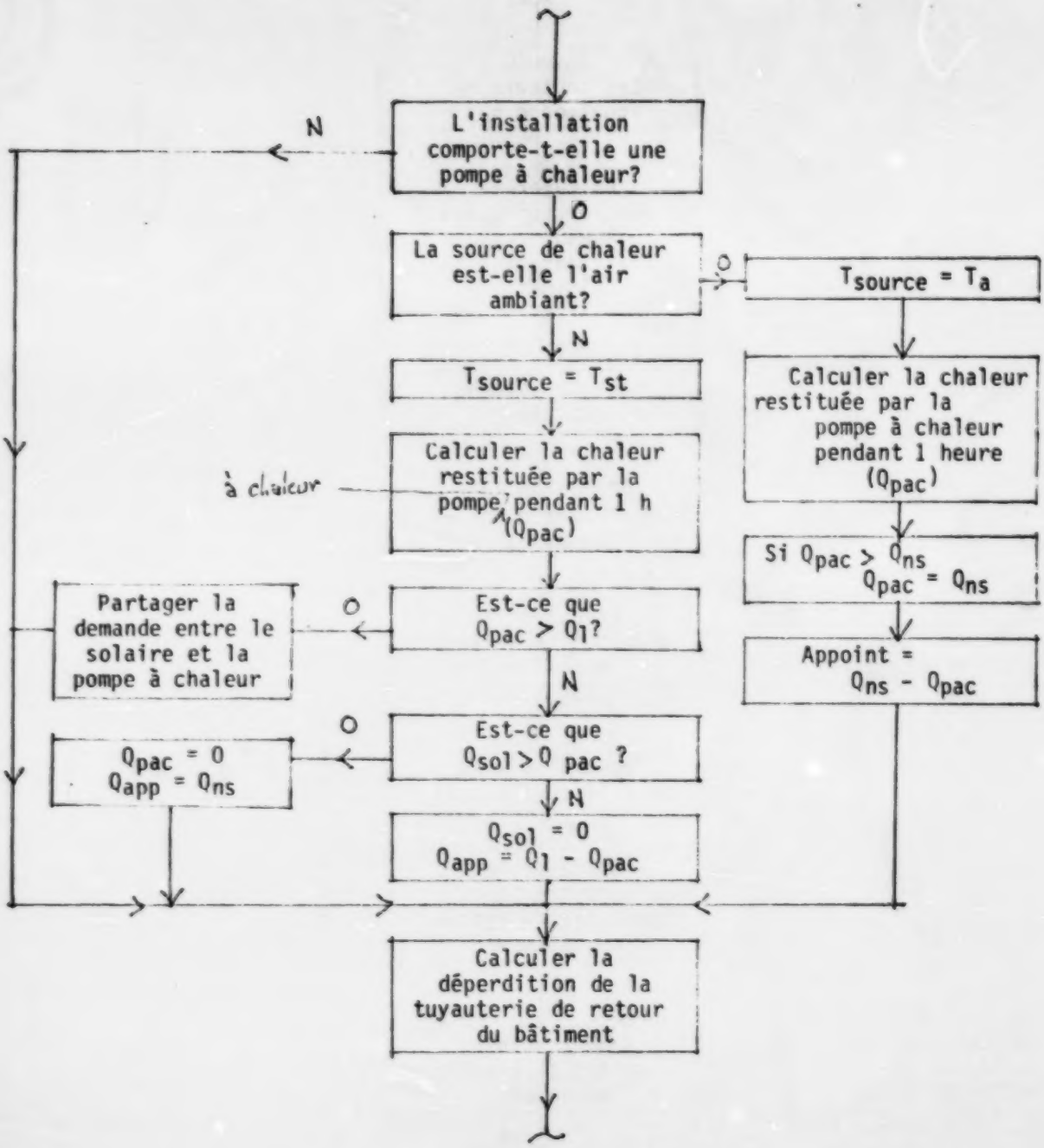
Si l'énergie solaire disponible dépasse les besoins du bâtiment, le programme calcule la fraction horaire pendant lequel l'installation doit fonctionner pour répondre à la demande.

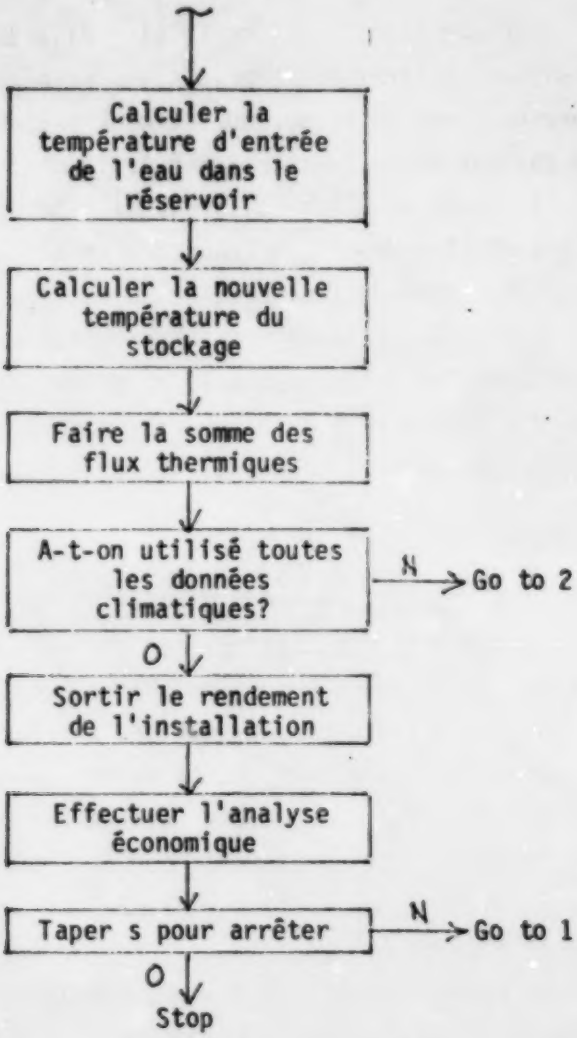
Si l'installation solaire ne peut suffire aux besoins, la pompe à chaleur se met en marche (si disponible). La puissance restituée de la pompe à chaleur est calculée en supposant qu'elle fonctionne durant l'heure entière. L'algorithme de la pompe à chaleur est décrit à la section 5.5. Si cette valeur dépasse la demande de chauffage, l'installation solaire et la pompe à chaleur se partage la charge de façon à ce qu'elles fonctionnent pendant l'heure entière et répondent exactement à la demande de chauffage. Si elles ne peuvent suffire à la demande, on suppose que le chauffage d'appoint comble la différence.

Figure 6: organigramme d'ENERPUB




Les capteurs ne fonctionne pas
Calculer la déperdition de la tuyauterie d'alimentation du bâtiment
Calculer la chaleur fournie à l'eau domestique
Calculer la température d'entrée de l'eau au bâtiment
Calculer la contribution solaire maximale (Q_{sol})
L'apport solaire peut-il contribuer?
N
$Q_{sol} = 0$
O
Calculer la déperdition de la tuyauterie de retour du bâtiment
L'apport solaire suffit-il à la demande?
O
Calculer la fraction d'heure pendant laquelle l'installation fonctionne
$Q_{sol} = Q_1$
N
Calculer la demande à laquelle le solaire ne répond pas?


L'installation comporte-t-elle une pompe à chaleur?
N
O
La source de chaleur est-elle l'air ambiant?
O
$T_{source} = T_a$
N
$T_{source} = T_{st}$
Calculer la chaleur restituée par la pompe à chaleur pendant 1 heure (Q_{pac})
à chaleur
Calculer la chaleur restituée par la pompe pendant 1 h (Q_{pac})
Si $Q_{pac} > Q_{ns}$ $Q_{pac} = Q_{ns}$
Partager la demande entre le solaire et la pompe à chaleur
O
Est-ce que $Q_{pac} > Q_1$?
Appoint = $Q_{ns} - Q_{pac}$
N
O
Est-ce que $Q_{sol} > Q$ pac ?
$Q_{pac} = 0$ $Q_{app} = Q_{ns}$
N
$Q_{sol} = 0$ $Q_{app} = Q_1 - Q_{pac}$
Calculer la déperdition de la tuyauterie de retour du bâtiment


Calculer la température d'entrée de l'eau dans le réservoir
Calculer la nouvelle température du stockage
Faire la somme des flux thermiques
A-t-on utilisé toutes les données climatiques?
N
Go to 2
O
Sortir le rendement de l'installation
Effectuer l'analyse économique
Taper s pour arrêter
N
Go to 1
O
Stop

Lorsque l'installation solaire distribue de la chaleur au bâtiment, les déperditions calorifiques de la tuyauterie de retour sont calculées. La température de l'eau de retour du bâtiment peut être calculée à partir des pertes de chaleur de la tuyauterie et de la chaleur distribuée au bâtiment.

À la fin de l'heure, la nouvelle température du stockage est calculée d'après les débits des capteurs et de la demande. On trouvera une description détaillée de l'algorithme du réservoir stratifié à la section 5.6.

Enfin, les flux de chaleur horaires sont additionnés pour la période de simulation et les totaux mensuels et annuels sont imprimés. L'analyse économique est effectuée à ce point-ci. Voir la section 5.7 pour une description détaillée de l'algorithme de l'analyse économique.

5.2 Algorithme de traitement des données climatiques

La majorité des stations météorologiques au Canada ne mesurent que le rayonnement solaire total sur une surface horizontale. La plupart des capteurs solaires toutefois sont inclinés pour augmenter l'insolation. Le programme détermine des valeurs horaires de rayonnement solaire total (direct, diffus et réfléchi) sur une surface inclinée et mémorise les valeurs dans un fichier de travail. L'algorithme de conversion du rayonnement solaire sur une surface horizontale à une surface inclinée est analogue à la méthode utilisée par Duffie et Beckman (1).

De manière à évaluer le rayonnement solaire sur une surface inclinée, il est nécessaire de diviser le rayonnement solaire total mesuré sur un plan horizontal en ses deux composants: direct et diffus. Il est possible d'évaluer la quantité de rayonnement diffus d'après le rapport du rayonnement mesuré au rayonnement extra-terrestre. Si ce rapport est faible, le rayonnement solaire est avant tout diffus; s'il est élevé, le rayonnement comporte davantage d'éclairement direct.

Lorsqu'on connait les composants direct et diffus du rayonnement solaire, on peut évaluer les composants du rayonnement sur une surface inclinée au moyen de relations géométriques normales. L'évaluation du rayonnement solaire sur une surface inclinée comporte un troisième élément: le rayonnement réfléchi. Ce dernier peut être calculé à partir du rayonnement direct et de l'albédo ou réflectivité du sol.

Les équations du programme et leur traitement sont décrit ci-dessous.

Au début de chaque journée, la constante solaire et la déclinaison terrestre sont calculées. La constante solaire est donnée par:

$$S_C = 4871.0\ [1. + 0.33 \cos (2\pi N / 365)] \quad \text{en kJ/(h·m²)}$$

où N est le numéro du jour (le 1 janvier est 1).

La déclinaison terrestre est donnée par:

$$\delta = \frac{23.45 * 2}{360} * \sin \frac{[2\pi (284 + N)]}{360 * 365} \quad \text{en radians}$$

On suppose ces valeurs constantes pour chaque jour. Tous les autres calculs sont effectués sur une base horaire.

La première étape consiste à lire les données climatiques mesurées du fichier. Le fichier de données renferme six valeurs pour chaque heure dans l'ordre suivant:

1) le numéro du mois (1-12)
2) le numéro du jour (1-31)
3) le numéro de l'heure (1-24)
4) l'albédo
5) le rayonnement solaire sur un plan horizontal (en W/m²)
6) la température ambiante (en °C)

Le rayonnement extra-terrestre sur une surface horizontale est calculé d'après

$$H_{ex} = S_C \cdot \cos (\theta_z)$$

où $\cos (\theta_z)$ est le cosinus de l'angle du zénith (angle entre le rayonnement et la verticale)

$$\cos (\theta_z) = \cos (\phi) \cos (\delta) \cos w + \sin\phi \sin\delta$$

ϕ est la latitude de l'endroit

w est l'angle horaire

Le rayonnement solaire diffus peut être évalué au moyen d'une corrélation établie par Orgill et Hollands (2).

$$H_{dif} = 0.1769 \cdot H \quad \text{si } 0.75 < K_T$$

$$H_{dif} = (1.55699 - 1.884013 \cdot K_T) \cdot H \quad \text{si } 0.35 \leq K_T \leq 0.75$$

$$H_{dif} = (1. - 0.248857 \cdot K_T) \cdot H \quad \text{si } 0.0 \leq K_T \leq 0.35$$

où H est le rayonnement solaire horaire mesuré

K_T est le rapport du rayonnement solaire mesuré au rayonnement extraterrestre

$= H/H_{ex}$

Le rayonnement direct est simplement le rayonnement global mesuré moins le rayonnement diffus.

$$H_{dir} = H - H_{dif}$$

La prochaine étape est de calculer le rapport du rayonnement direct sur un plan incliné au rayonnement direct sur un plan horizontal (R_{dir}).

$$R_{dir} = \cos(\theta_T)/\cos(\theta_z)$$

où $\cos(\theta_T)$ est le cosinus de l'angle d'incidence du rayonnement direct entre le rayon et la normale au plan.

$$\cos(\theta_T) = \sin(\delta)\sin(\phi)\cos(s) - \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(s)\cos(w) \cos(\delta)\sin(\phi)\sin(s)\cos(\gamma)\cos(w)\cos(\delta)\sin(s) \sin(\gamma)\sin(w)$$

γ est l'angle d'azimuth mesuré à partir du sud (l'est est positif, l'ouest est négatif)

Donc, le rayonnement direct sur la surface inclinée est

$$H_{DIR} = R_{dir}\, H_{dir}$$

La composante diffuse du rayonnement sur un plan incliné est évaluée d'après le coefficient d'ouverture du capteur sur la voûte céleste avec facteurs de correction pour la distribution non uniforme du rayonnement diffus.

Les facteurs de correction pour le rayonnement diffus anisotropique sont tirés de Temps et Coulson (3) et Klucher (4). L'équation résultante est

$$H_{DIF} = \left(\frac{1 + \cos(s)}{2}\right)\left(1 + F\sin^3(s/2)\right)\left(1 + F\cos^2(\theta_T)\cdot\sin^3(\theta_z)\right)H_{dif}$$

où $F = 1 - (H_{dif}/H)^2$

Le rayonnement solaire réfléchi sur le plan incliné est

$$H_{ref} = \left(\frac{1 - \cos(s)}{2}\right)\rho H$$

où ρ est l'albédo

Le rayonnement total sur le plan incliné (H_T) est la somme des rayonnements direct, diffus et réfléchi.

Les valeurs horaires du rayonnement total sur un plan incliné, la température ambiante, le numéro du jour et de l'heure sont inscrit au fichier de travail. Lorsque toutes les données ont été traitées et inscrites au fichier de travail, le fichier est rebobiné de façon à être prêt pour la simulation.

5.3 Algorithme de calcul des déperditions calorifiques de la tuyauterie

La méthode de calcul des déperditions calorifiques de la tuyauterie est la même pour tous les tuyaux. La déperdition calorifique repose sur la différence entre la température moyenne du fluide et la température ambiante.

$$Q_p = UA_{tuyau} (T_{fm} - T_{at}) \quad (1)$$

où UA_{tuyau} est le coefficient de déperdition calorifique du tuyau

T_{at} est la température ambiante du tuyau. Il s'agit soit d'une valeur constante, d'une température ambiante horaire ou d'une température mensuelle du sol (selon les valeurs des paramètres 61, 63, 65 et 67)

T_{fm} est la température moyenne du fluide

$= (T_{fe} + T_{fs})/2$

On peut calculer la température du fluide de sortie à partir de la déperdition calorifique du tuyau et du débit massique.

$$T_s = T_e - Q_p/\dot{m} C_p) \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) sont interdépendantes, c'est-à-dire que les deux renferment les deux mêmes inconnus Q_p et T_e. En combinant les équations, on peut résoudre exactement pour les deux inconnus.

$$Q_p = UA_{tuyau}(T_{fe} - T_{at})/(1 + \frac{UA_{tuyau}}{2 \dot{m} C_p})$$

5.4 Algorithme du rendement des capteurs

Le rendement instantané des capteurs solaires est calculé par le modèle normal de $F_R\tau\alpha$ et F_RU_L de Hottel-Whillier-Bliss. Le programme admet que ces deux caractéristiques des capteurs sont indépendantes de la température et du rayonnement solaire.

Si on utilise un échangeur de chaleur capteurs-stockage, les termes $F_R\tau\alpha$ et F_RU_L sont modifiés selon la méthode de DeWinter (5).

$$F_R\tau\alpha' = F_R\tau\alpha \cdot E_e$$

$$F_RU_L' = F_RU_L \cdot E_e$$

où $E_e = \dot{m}_c C_p / (\dot{m} C_p \quad F_RU_L * (1 - E_{ec})$

et le ' sur une valeur signifie qu'elle tient compte des effets de l'échangeur de chaleur.

Le programme calcule, pour chaque heure, la réduction de transmission solaire des capteurs aux angles d'incidence qui s'écartent de la normale. Cette réduction (K) est donnée par:

$$K = 1. + b_o \left(\frac{1}{\cos(\theta)} - 1.\right)$$

où b_o est le modificateur d'angle d'incidence

θ est l'angle d'incidence du rayonnement direct sur le capteur

Pour déterminer si le capteur fonctionne à une heure donnée, la température de stagnation (T_c) est calculée

$$T_c = T_a + H_T \cdot K \cdot F_R\tau\alpha' / F_R U_L'$$

Si T_c est plus élévé que que la température d'entrée, on suppose que le capteur fonctionne toute l'heure durant. Si T_c est inférieur à la température d'entrée, le capteur ne fonctionne pas. La chaleur absorbée par le capteur est

$$Q_{ab} = F_R U_L' \cdot \text{surface} \cdot (T_c - T_{ce})$$

La température de sortie du capteur est

$$T_{cs} = T_{ce} + Q_{ab}/(\dot{m}_c C_p)$$

5.5 Algorithme de la pompe à chaleur

L'énergie distribuée par la pompe à chaleur (Q_{pac}) est évaluée au moyen d'une corrélation entre la puissance restituée et la température de la source ou de l'évaporateur de la pompe (T_{ev}). L'énergie consommée par la pompe à chaleur (P_{pac}) est évaluée de façon analogue.

$$Q_{pac} = a_1 T_{ev}^2 + a_2 T_{ev} + a_3$$

$$P_{pac} = b_1 T_{ev}^2 + b_2 T_{ev} + b_3$$

où a_1, a_2, a_3 et b_1, b_2, b_3 sont des coefficients de corrélation

Les coefficients de corrélation peuvent être estimés à partir de la courbe de performance de la pompe à chaleur disponible auprès du fabricant. On peut également introduire dans le programme des coordonnées de la performance et le programme se charge de calculer les coefficients par une analyse des moindres carrés.

On admet que la pompe à chaleur fonctionne en régime permanent pour la durée entière de l'heure simulée. Cela implique que la température de la source de chaleur, qu'il s'agisse du réservoir de stockage solaire ou de l'air ambiant, est constante sur l'heure ou la fraction d'heure nécessaire pour répondre à la demande. Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur est définit par:

$$COP = Q_{pac}/P_{pac}$$

Une pompe à chaleur ne peut fonctionner qu'à l'intérieur d'une plage de températures. Si la température de l'évaporateur est en dehors de cette plage, le dispositif de régulation interne empêche le fonctionnement de la pompe. Pour simuler cette fonction, le programme s'assure au début de chaque heure que la température de la source se trouve à l'intérieur des limites supérieure et inférieure. Si elle est en dehors de ces limites, on suppose que la pompe à chaleur ne distribue aucune chaleur durant l'heure.

5.6 Algorithme du réservoir stratifié

Les réservoirs d'eau des installations solaires font l'objet d'une stratification due à la température. L'importance de la stratification dépend des débits et des températures de l'installation. Le modèle utilisé pour le programme repose sur les recommendations de Klein (6). Il est analogue au modèle de Duffie et Beckman (1) quoique plus souple.

Le modèle du réservoir consiste en une série de niveaux horizontaux. Pour chaque heure simulée, l'équilibre massique et thermique des niveaux est calculé. On suppose que l'eau qui entre dans le réservoir (soit des capteurs, soit du bâtiment) monte ou descend au niveau dont la température est la plus proche. Si l'eau circule des capteurs et du bâtiment, on suppose que l'écoulement est entièrement mélangé avant d'atteindre chaque niveau. L'équilibre thermique du réservoir tient aussi compte de la chaleur perdue au milieu ambiant par chaque niveau et de la chaleur transmise à l'eau domestique par l'échangeur thermique du niveau supérieur.

L'équilibre thermique d'un niveau est donné par:

$$T_{si}' = T_{si} + \left[\alpha_i \dot{m}_c C_p (T_{cs} - T_{si}) + \beta_i \dot{m}_D C_p (T_{cs} - T_{si}) - Q_p + Q_a + Q_d\right] / (m_i C_p)$$

où T_{si} est la température du niveau i au début de l'heure

T_{si}' est la température du niveau i à la fin de l'heure

$\dot{m}_c$, $\dot{m}_D$ sont les débits massiques horaires des capteurs et du bâtiment vers le stockage

C_p est la chaleur spécifique de l'eau

m_i est la masse de l'eau au niveau i

Q_p est la déperdition calorifique au milieu ambiant par conduction des parois du réservoir

Q_a, Q_d est la quantité de chaleur transmise au niveau par l'écoulement ascendant ou descendant

α, β sont des fonctions de contrôle qui définissent le(s) niveau(x) réel(s) où retourne le fluide

Les fonctions de contrôle sont données par:

si $r_c \leq i \leq S_{cs}$ ou $S_{cs} \leq i \leq r_c$

alors $\alpha_i = 1/(|r_c - S_{cs}| + 1)$

sinon $\alpha_i = 0$

si $r_D \leq i \leq S_D$ ou $S_D \leq i \leq r_D$

alors $\beta_i = 1/(|r_D - S_D| + 1)$

sinon $\beta_i = 0$

où r_c est le niveau auquel retourne le fluide des capteurs

r_D est le niveau auquel retourne le fluide du bâtiment

S_{cs} est le niveau dont la température est la plus proche de celle du fluide de retour des capteurs

S_D est le niveau dont la température est la plus proche de celle du fluide de retour du bâtiment

La quantité Q_d est données par:

pour γ_i 0

$Q_d = \gamma_i (T_{s_{i-1}} - T_{s_i})$

où $\gamma_i = \dot{m}_c C_p \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j - \dot{m}_D C_p \sum_{j=1}^{N} \beta_j$

sinon $Q_d = 0$

La quantité Q_a est données par:

pour $\gamma_{i+1} < 0$

$$Q_a = \gamma_{i+1} (T_{s_i} - T_{s_{i+1}})$$

Lorsque les températures ont été mises à jour, le programme procède à deux vérifications. La première concerne l'instabilité de la température de stockage. Si la température d'un niveau est plus élevée que celle du niveau au-dessus, on admet que les différences de densité provoqueront le mélange complet de ces deux niveaux. Comme tous les niveaux ont la même capacité calorifique, la nouvelle température des deux niveaux est égale à la moyenne arithmétique de leur température. La seconde vérification se rapporte à la température minimale admissible. Si la température d'un des niveaux descend en-dessous du minimum admissible, on admet que le chauffage d'appoint se met en marche. Comme l'appareil de chauffage est très probablement situé à la partie inférieure du réservoir, l'eau chaude monte et entraîne le mélange complet du réservoir. Un avertissement est imprimé si le chauffage auxiliaire a été nécessaire.

5.7 Algorithme de l'analyse économique

L'algorithme de l'analyse économique est normal et est donné par de nombreux manuels. On calcule deux indicateurs économiques: (i) la valeur actuelle des économies dues au solaire (avec et sans chauffage d'appoint) et (ii) le coût unitaire global de l'énergie (avec et sans installation solaire).

Dans l'analyse de la valeur actuelle, toutes les dépenses futures, pour le combustible ou le remboursement du prêt, sont actualisées. La valeur actuelle des dépenses annuelles de combustible et d'entretien sont:

$$V.A._c = \sum_{t=1}^{N} C_{comb} (1 + t)^N / (1 + r)^N$$

$$V.A._e = \sum_{t=1}^{N} C_{ent} / (1 + r)^N$$

où C_{comb}, C_{ent} sont les dépenses de la première année pour le combustible et l'entretien, respectivement

t est le taux d'inflation du combustible

r est le taux de rentabilité du meilleur investissement autre que celui-ci

La valeur présente du remboursement du prêt est

$$V.A._{is} = C_{is} \frac{1\,(1 + i)^L\,((1 + r)^L - 1)}{((1 + i)^L - 1)\,r(1 + r)^L}$$

où C_{is} est le coût total de l'installation solaire

i est le taux d'intérêt sur le prêt

L est la durée du prêt en années

La valeur de récupération est actualisée par:

$$V.A._r = C_r / (1 + r)^N$$

Par conséquent, les valeurs actuelles de l'investissement solaire avec et sans le coût du combustible sont:

$$V.A._{sol_1} = V.A._{is} + V.A._e - V.A._r$$

$$V.A._{sol_2} = V.A._{is} + V.A._e + V.A._c - V.A._r$$

Ces deux valeurs sont celles qui sont imprimées dans les résultats de l'analyse économique. On peut calculer le coût unitaire global à partir de la valeur actuelle. Le coût unitaire global est donc

$$CUG = V.A._{sol_1} / E_{tot}$$

où E_{tot} est la demande totale de chauffage pour la durée de vie de l'installation

Le coût unitaire global du solaire est

$$SLUC = V.A._{sol_2} / (E_{tot} \cdot F_s)$$

où F_s est la fraction de la demande de chauffage satisfaite par l'installation de chauffage solaire

6. STRUCTURE DU PPOGRAMME

La présente section a pour objet de décrire la structure du programme et n'intéresse par conséquent que ceux qui désirent modifier le programme.

L'organigramme est décrit à la figure 7. Le programme consiste en un programme principal et 16 sous-programmes.

i) MAINLINE - programme principal pour l'attribution du numéro de l'unité de disque et l'appel des sous-programmes.

ii) PRINT 1 - sous-programme pour imprimer la page titre en début de programme.

iii) PRINT 2 - sous-programme pour imprimer les résumés de l'analyse horaire de l'énergie

iv) INPUT - sous-programme interactif pour l'entrée des données de l'utilisateur et l'impression des données d'entrée. Ce sous-programme lit les valeurs implicites d'un fichier de données.

v) WEATH - sous-programme de conversion du rayonnement solaire mesuré sur un plan horizontal pour un plan incliné. Les données climatiques sont lues d'un fichier et les données traitées sont inscrites à un nouveau fichier.

vi) SYSTEM - sous-programme pour initialiser les paramètres de l'installation et additionner les flux énergétiques. À la fin de la simulation, les résultats annuels sont imprimés.

vii) LOGIC - sous-programme d'appel de sous-programme selon les flux d'énergie.

viii) CLECTR - sous-programme de calcul du rendement des capteurs

ix) LOAD - sous-programme de calcul des demandes de chauffage des locaux et de l'eau domestique et de la contribution solaire au chauffage.

x) HTPUMP - sous-programme de calcul du rendement de la pompe à chaleur.

xi) PIPE - sous-programme de calcul des déperditions calorifiques d'un tuyau (le même pour les quatre tuyaux)

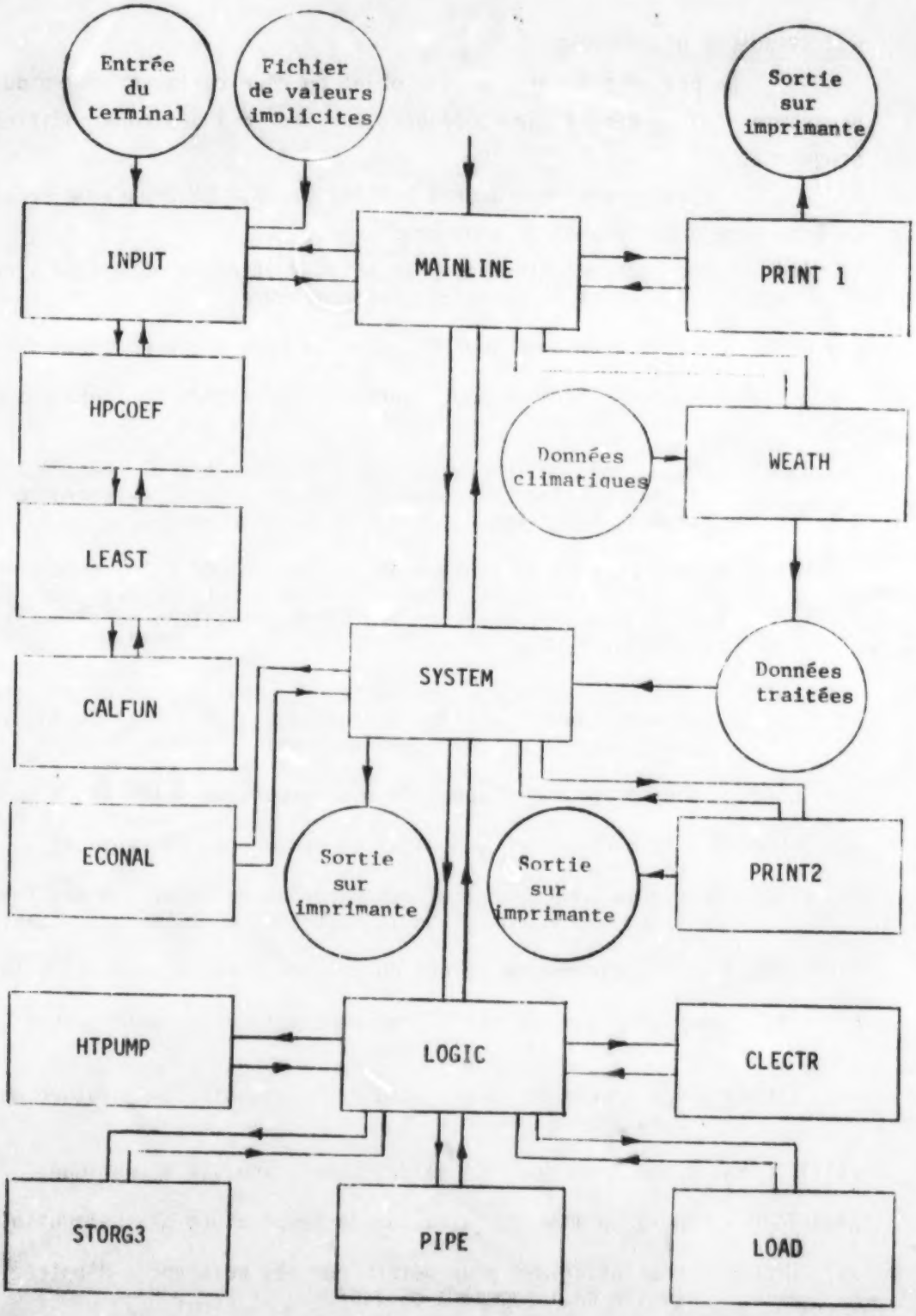
xii) STORG3 - sous-programme pour calculer la nouvelle température du stockage à la fin de l'heure.

xiii) ECONAL - sous-programme de calcul pour l'analyse économique.

xiv) TGRD - sous-programme de calcul de la température mensuelle du sol.

xv) HPCOEF - sous-programme pour déterminer les puissances d'entrée et de sortie de la pompe à chaleur.

Figure 7: structure du programme ENERPUB



xvi) CALFUN - sous-programme qui renferme l'équation de la puissance de la pompe à chaleur sous sa forme générale.

xvii) LEAST - sous-programme d'analyse des moindres carrés sur les coordonnées de puissance de la pompe à chaleur.

On doit définir quatre fichiers avant de lancer le programme:

Terminal/imprimante - (unité 12) est l'appareil d'entrée des données et de sortie de programme.

Données implicites - (unité 10) est le fichier qui contient les valeurs implicites des paramètres de l'installation.

Données climatiques - (unité 8) est le fichier qui contient les données climatiques compatibles au TRNSYS. Les données doivent être inscrites sous la forme (2X,I2,2X,I2,2X,I2,F3.1,I3,F6.1) et contenir le numéro du mois, du jour et de l'heure, l'albédo, la température ambiante ($^{0}_{2}$C) et le rayonnement solaire sur un plan horizontal (W/m^2).

Données traitées - (unité 9) est le fichier produit par le programme qui contient le rayonnement solaire sur un plan incliné et la température ambiante.

7. RÉFÉRENCES

1) Duffie et Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and sons, New York, 1980.

2) Orgill, J.F. et Hollands, K.G.T., Solar Energy, vol. 19, n° 2, "Correlation Equation for Hourly Diffuse Radiation on a Horizontal Surface."

3) Temps, R.C. et Coulson, K.L., Solar Energy, vol. 19, n° 2, "Solar Radiation Incident upon Slopes of Different Orientation".

4) Klucher, T.M., Solar Energy, vol. 23, n° 2, "Evaluation of Models to Predict Insulation on Tilted Surfaces".

5) deWinter, F., Solar Energy, vol. 17, "Heat Exchanger Penalties in Double-Loop Solar Water Heating Systems".

6) Klein, S.A., A Design Procedure for Solar Heating Systems, thèse de doctorat, Université de Wisconsin-Madison, 1976.

8. FEUILLE DE PROGRAMMATION

Commandes d'ENERPUB

L - POUR OBTENIR LA LISTE DES DONNÉES
R - POUR EXÉCUTER LE PROGRAMME (AVEC LA LISTE)
C - POUR CHANGER DE TYPE D'INSTALLATION
S - POUR ARRÊTER LA SEANCE OU...
POUR MODIFIER UN PARAMÈTRE, INTRODUIRE LE CODE NUMÉRIQUE

Données d'entrée ENERPUB et valeurs implicites

* DONNEES GENERALES

1. ANNEE DE DEPART DE LA SIMULATION.....	1970
2. PERIODE DE SIMULATION (JOURS).....	365
3. JOUR 1 DE LA PERIODE (1-365)	1
4. SORTIE DETAILLEE SUR IMPRIMANTE (NON=0, OUI=INTERVAL 1-H)..	0
5. HEURE 1 DE L'INTERVAL DE SORTIE (0,...,1).....	0
6. INCLINAISON DES CAPTEURS (DEGRES).....	55.00
7. ORIENTATION DES CAPTEURS (SUD=0, DEGRES).....	0.00

* DONNEES DES CAPTEURS

10. SURFACE BRUTE DES CAPTEURS (M2).....	100.00
11. TEMPERATURE DE SORTIE MAXIMALE DES CAPTEURS.....	98.
12. DIFF. DE TEMP. NECESSAIRE ENTRE CAPTEURS ET STOCKAGE (C)..	1.7
13. PUISSANCE DES POMPES 1 ET 2/SURFACE DE CAPTEURS (W/M2)....	10.
14. DEBIT * CAPACITE CALORIFIQUE (W/M2.C).....	60.
15. FR-TAU-ALPHA (MODIFIE).....	0.710
16. FR-UL (MODIFIE) (W/M2.C).....	3.910
17. BO, INDICE DU MODIFICATEUR DE L'ANGLE D'INCIDENCE.....	-0.100
18. RENDEMENT DE L'ECHANGEUR CAPTEURS-STOCKAGE.....	1.0

* DONNEES DU STOCKAGE

20. VOLUME DU STOCK./SURFACE DE CAPT. (M3/M2).....	0.075
21. TEMPERATURE DE DEPART (C).....	20.00
22. TEMPERATURE AMBIANTE (C).....	20.00
23. COEF. DE DEPERDITION CALOR. DU DESSUS (W/C).....	0.00

24. COEF. DE DEPERDITION CALOR. DES COTES (W/C)..... 0.00
25. COEF. DE DEPERDITION CALOR. DU DESSOUS (W/C)..... 0.00
26. NOMBRE DE STRATIFICATIONS DU RESERVOIR..... 1
27. RETOUR DES CAPT. AU NIVEAU #..... 1
28. RETOUR DU BATIMENT AU NIVEAU #..... 1
29. TEMP. MIN. ADMISSIBLE DU STOCKAGE (C)..... 4.00

* DONNEES DE LA POMPE A CHALEUR

30. LIMITE DE TEMP. INFERIEURE DE L'EVAPORATEUR (C)..... 0.0
31. LIMITE DE TEMP. SUPERIEURE DE L'EVAPORATEUR (C)..... 35.0
32. COEF. CQ, COEF. CP DE LA POMPE A CHALEUR:

5.000	448.000	15473.000
0.000	103.000	5767.000

* DONNEES DU BATIMENT

40. COEFFICIENT UA DU BATIMENT (W/C).....1000.00
41. PUISSANCE CONSOMMEE PAR LE VENTILATEUR (W)..... 0.
42. RENDEMENT DE L'ECHANGEUR STOCK.-BATIMENT..... 0.700
43. PUISSANCE UNITAIRE DU CORPS DE CHAUFFE (W/C)..... 3000.
44. COEF. D'APPORT SOLAIRE DIRECT (M2)..... 0.00
45. TEMPERATURE INTERIEURE DE CALCUL (C)..... 20.00
46. APPORTS INTERNES HORAIRES (KJ)

0.	0.	0.	0.	0.	1800.
3600.	2700.	5400.	4500.	1800.	3600.
4500.	3600.	2700.	2700.	1800.	16200.
6300.	2700.	2700.	2700.	1800.	1800.

* DONNEES DE LA DEMANDE D'EAU CHAUDE

50. TEMPERATURE DE L'EAU DE LA CONDUITE PRINCIPALE (C)..... 6.00
51. TEMPERATURE VOULUE DE L'EAU (C)..... 40.00
52. RENDEMENT DE L'ECHANGEUR POUR L'EAU CHAUDE..... 0.50
53. DEMANDE HORAIRE D'EAU CHAUDE (LITRES)

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.

* DONNEES DE LA TUYAUTERIE

60. COEF. DE DEPERDITION CALOR. - RETOUR DES CAPT. (W/C)..... 0.00
61. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DES CAPT. (C)..... 20.0
62. COEF. DE DEPERDITION CALOR. - ALIMENT. DES CAPT. (W/C)... 0.00
63. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DES CAPT. (C)..... 20.0
64. COEF. DE DEPERDITION CALOR. - ALIMENT. DU BATIMENT (W/C). 0.00
65. TEMP. AMBIANTE - ALIMENT. DU BATIMENT (C)..... 20.0
66. COEF. DE DEPERDITION CALOR. - RETOUR DU BATIMENT (W/C)... 0.00
67. TEMP. AMBIANTE - RETOUR DU BATIMENT (C)..... 20.0

* DONNEES ECONOMIQUES

70. DUREE DE VIE DE L'INSTALLATION (ANNEES)..... 20
71. DUREE DU PRET (ANNEES)..... 20
72. TAUX D'INTERET DU PRET (P. CENT).....10.000
73. TAUX DE RENTABILITE (TAUX D'EXCOMPTE) (P. CENT).....10.000
74. COUTS FIXES DES COMPOSANTS SOLAIRES ($)..... 830.
75. COUTS FIXES DE LA POMPE A CHALEUR ($)..... 2180.
76. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DES COMP. SOLAIRES ($/ANNEE).. 50.
77. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS DE LA PAC ($/ANNEE)..... 50.
78. VALEUR DE RECUPERATION A LA FIN DE LA PERIODE ($)..... 0.
79. COUT UNITAIRE DES CAPTEURS ($/M2)..... 230.
80. COUT UNITAIRE DU STOCKAGE ($/M3)..... 122.
81. COUT UNITAIRE ACTUEL DU COMBUSTIBLE ($/GJ).....10.000
82. TAUX D'INFLATION CENTILE DE L'ENERGIE:

13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

9. NOMENCLATURE

a	coefficients de la pompe à chaleur
A	surface des capteurs
AI	apports internes (kJ)
b	coefficients de la pompe à chaleur
b_o	modificateur de l'angle d'incidence
C_{comb}	coût du combustible pour la première année ($/année)
C_{ent}	coût de l'entretien pour la première année ($/année)
C_{is}	coût total de l'installation solaire ($)
COP	coefficient de performance
C_p	chaleur spécifique (kJ/(kg·°C))
C_r	valeur de récupération ($)
DEC	demande d'eau chaude domestique (litres)
E_c	échangeur de chaleur
E_e	facteur d'échangeur de chaleur
E_{tot}	demande totale de chauffage pour la durée de vie de l'installation (GJ)
F_R	coefficient d'extraction de chaleur des capteurs
F_R	coefficient de transmission-absorption des capteurs
$F_R U_L$	coefficient de déperdition calorifique des capteurs (W/(m².°C))
F_S	fraction solaire
H	rayonnement solaire horaire mesuré (kJ/(h·m²))
H_{dif}	rayonnement diffus horaire (kJ/h·m²))
H_{DIF}	rayonnement diffus horaire sur un plan incliné (kJ/(h·m²))
H_{dir}	rayonnement direct horaire (kJ/(h·m²))
H_{DIR}	rayonnement direct horaire sur un plan incliné (kJ/(h·m²))
CUG	coût unitaire global

H_{ex}	rayonnement extra-terrestre horaire (kJ/(h·m^2))
H_{ref}	rayonnement réfléchi horaire (kJ/(h·m^2))
i	taux d'intérêt du prêt
K_T	indice de limpidité
L	durée du prêt (années)
$\dot{m}$	débit massique (kg/h)
$\dot{m}_c$	débit massique au travers des capteurs (kg/h)
$\dot{m}_D$	débit massique vers le bâtiment (kg/h)
$\dot{m}_i$	masse d'eau dans le niveau i (kg)
N	numéro du jour de l'année
P	pompe
P_{pac}	entrée d'énergie de la pompe à chaleur (kJ/h)
PAC	pompe à chaleur
Q_a	quantité de chaleur transmise au niveau de stockage par écoulement ascendant (kJ/h)
Q_{ab}	énergie solaire absorbée par les capteurs (kJ/h)
Q_{app}	demande de chauffage d'appoint (kJ/h)
Q_d	quantité de chaleur transmise au niveau de stockage par écoulement descendant (kJ/h)
Q_{DEC}	transmission de chaleur à la demande d'eau chaude domestique (kJ/h)
Q_l	demande de chauffage des locaux (kJ/h)
Q_{ns}	demande de chauffage non satisfaite par le solaire (kJ/h)
Q_p	déperdition calorifique du réservoir ou du tuyau (kJ/h)
Q_{pac}	chaleur restituée par la pompe à chaleur (kJ/h)
Q_{SDEC}	contribution solaire à la demande d'eau chaude domestique (kJ/h)
Q_{sol}	contribution solaire maximale possible (kJ/h)

r	taux de rentabilité
r_c	niveau auquel le fluide retourne des capteurs
r_D	niveau auquel le fluide retourne du bâtiment
R_{dir}	rapport du rayonnement direct sur un plan incliné au rayonnement direct sur un plan horizontal
S_C	constante solaire
S_{cs}	niveau dont la température est la plus proche du fluide de retour des capteurs
S_D	niveau dont la température est la plus proche du fluide de retour du bâtiment
SCUG	coût unitaire global du solaire
t	taux d'inflation du combustible
T_a	température ambiante (^oC)
T_{at}	température ambiante de la tuyauterie (^oC)
T_b	température du bâtiment (^oC)
T_c	température de stagnation des capteurs (^oC)
T_{ce}	température d'entrée des capteurs (^oC)
T_{cp}	température de l'eau de la conduite principale ~~(de la ville)~~ (^oC)
T_{cs}	température de sortie des capteurs (^oC)
T_{fe}	température du fluide d'entrée des capteurs (^oC)
T_{fs}	température du fluide de sortie des capteurs (^oC)
T_r	température de réglage de l'eau chaude (^oC)
T_{s1}	température à la partie supérieure du réservoir (^oC)
T_{si}	température du niveau de stockage i (^oC)
T_{source}	température de la source de la pompe à chaleur (^oC)
T_{st}	température du stockage (^oC)

UA_b	coefficient de déperdition calorifique du bâtiment (W/^oC ou kJ/(h·^oC))
UA_{tuyau}	coefficient de déperdition calorifique du tuyau (W/^oC ou kJ/(h·^oC))
UL	coefficient de déperdition calorifique des capteurs (W/(m^2·^oC))
$V.A._c$	valeur actuelle des dépenses de combustible ($)
$V.A._e$	valeur actuelle des dépenses d'entretien ($)
$V.A._{is}$	valeur actuelle du remboursement du prêt ($)
$V.A._r$	valeur actuelle de la valeur de récupération ($)
$V.A._{sol}$	valeur actuelle de l'investissement solaire ($)
α	absortivité solaire
γ	angle d'azimuth
π	3.14159
ρ	masse volumique (kg/m^3)
α_f	constante du stockage stratifié
β_f	constante du stockage stratifié
γ_f	constante du stockage stratifié
θ	angle d'incidence

POOR

QUALITY

ORIGINAL